



# Địa cầu

HỘI KHOA HỌC KỸ THUẬT ĐỊA VẬT LÝ VIỆT NAM

**HỘI THẢO VIỆT ĐỨC**  
**VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ NGHIÊN CỨU ĐÊ**  
**VIETNAMESE - GERMAN WORKSHOP ON DIKE MONITORING**



**CHUYÊN SAN Tháng 3 năm 2003**

HÀ NỘI, 13-14/3/2003



# BAN BIÊN TẬP

**Tăng Mười:** *Tổng biên tập.*

**Trương Minh:** *P. Tổng biên tập,  
kiêm Chủ nhiệm Toà soạn*

**Nguyễn Xuân Sơn:** *P. Chủ nhiệm Toà soạn*

**Nguyễn Hồng Minh:** *Thư ký Toà soạn*

**Nguyễn Thu Huyền:** *Trợ lý Toà soạn*

Ngô Văn Bư  
Phạm Dương  
Hồ Đắc Hoài  
Lê Huy Minh  
Mai Thanh Tân  
Trần Tân Tiến

Trần Ngọc Toàn  
Nguyễn Thị Kim Thoa  
Nguyễn Ngọc Thuỷ  
Lê Đức Tố  
Nguyễn Đức Trạch  
Lê Phước Trình

Trần Vĩnh Tuân  
Bùi Công Quế  
Hoàng Văn Quý  
Phạm Năng Vũ  
Nguyễn Đình Xuyên

Toà soạn: B102, Viện Dầu khí, Trưng kính, Yên Hoà, Cầu Giấy, Hà Nội

ĐT: (84.4)7841734 ; (84.4) 8583787

FAX: (84.4)7844156

E-Mail: [truongminh@netnam.vn](mailto:truongminh@netnam.vn) ; [minhnh@vpihn.pv.com.vn](mailto:minhnh@vpihn.pv.com.vn)

## THẺ LÊ VIẾT BÀI CHO BẢN TIN **Địa cầu**

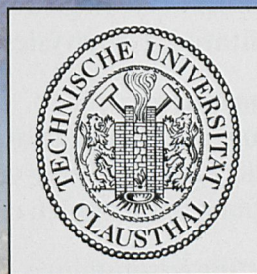
- Tất cả hội viên Hội Địa vật lý Việt nam, những người làm công tác địa vật lý, chuyên gia thuộc các ngành liên quan trong và ngoài nước đều có thể tham gia viết bài hoặc cung cấp tin cho Bản tin **Địa cầu**
- Nội dung bài viết bao gồm các chuyên đề về Vật lý địa cầu, Địa vật lý ứng dụng, Hải dương, Khí tượng- thủy văn, Thiên văn- Vũ trụ và các ứng dụng của chúng vào đời sống con người.
- Bài viết dưới dạng thông tin khoa học phổ thông, tóm tắt các tác phẩm khoa học của chính tác giả, lược dịch thông tin khoa học thế giới, đưa tin về các phát minh sáng chế KHKT mới.
- Mỗi bài viết không quá 03 trang, đưa tin không quá 01 trang đánh máy vi tính với phông chữ VnTime, cỡ chữ 12, kèm theo hình vẽ và ảnh (nếu có).
- Bản tin phát hành 2 kỳ/năm. Bài viết gửi về Toà soạn bằng đường thư điện tử (E-mail) hoặc thư bưu điện (đĩa mềm/trang đánh máy). Bài không đăng sẽ được Toà soạn thông báo và không trả lại tác giả.
- Tác giả và những người đưa tin sẽ được hưởng bồi dưỡng nhuận bút và được biếu 01 quyển Bản tin.
- Bản tin nhận đưa tin giới thiệu/quảng cáo về năng lực nghiên cứu, đào tạo nhân lực, sản xuất kinh doanh của các đơn vị/cơ quan và doanh nghiệp có liên quan.

**BAN BIÊN TẬP**



**VIỆN ĐỊA CHẤT**  
**TRUNG TÂM KHOA HỌC TỰ NHIÊN**  
**VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA VIỆT NAM**  
**INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES**  
**NATIONAL CENTRE FOR SCIENCES**  
**AND TECHNOLOGY VIETNAM**

**VIỆN ĐỊA VẬT LÝ**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT**  
**CLAUSTHAL CHLB ĐỨC**  
**INSTITUTE OF GEOPHYSICS**  
**TECHNICAL UNIVERSITY**  
**CLAUSTHAL GERMANY**



HỘI THẢO VIỆT ĐỨC VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP  
ĐỊA VẬT LÝ NGHIÊN CỨU ĐÊ

VIETNAMESE - GERMAN WORKSHOP  
ON DIKE MONITORING





# HỘI THẢO VIỆT - ĐỨC CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU ĐÊ VIETNAMESE - GERMAN WORKSHOP ON DIKE MONITORING

## Cơ quan tổ chức:

- Viện Địa chất - Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ Quốc gia;
- Viện Địa vật lý - Trường Đại học Kỹ thuật Clausthal.

## Organizer:

- Institute of Geological Sciences, NCST, Hanoi;
- Institute of Geophysics, Technique University Clausthal.

## Cơ quan tài trợ:

- Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ Quốc gia;
- Volkswagen Stiftung Germany;
- Chương trình nghiên cứu cơ bản, Bộ Khoa học, Công nghệ Việt Nam.

## Supporting Institutions:

- National Center for Natural Sciences and Technology, Hanoi;
- Volkswagen Stiftung Germany;
- Basis Research Program Found, MOSTE, Hanoi.

## Ban tổ chức hội thảo:

- TS. Trần Trọng Huệ - Viện trưởng viện Địa Chất, Trưởng Ban;
- GS.TSKH. Andreas Weller - Viện trưởng viện Địa vật lý - ĐHKT Clausthal. Phó Ban;
- TS. Trần Cánh - Viện Địa Chất, thành viên.

## Orgnisation board:

- Dr. Tran Trong Hue Director Institute of Geological Sciences, Hanoi;
- Prof. Dr. hab. Andreas Weller- Director Institute of Geophysics, University of Clausthal
- Dr. Trần Cánh - Institute of Geological Sciences, Hanoi.

## Ban biên tập chuyên san:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| TSKH. Trương Minh         | - P.Chủ tịch Hội ĐVLVN, Chủ biên              |
| - GS.TSKH. Andreas Weller | - Viện trưởng viện Địa vật lý, ĐHKT Clausthal |
| - TS. Trần Cánh           | - Viện Địa Chất, Hà Nội,                      |
| - KS. Nguyễn Huy Thịnh    | - Viện Địa Chất, Hà Nội.                      |

## Editorial board of special journal:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| - Dr.Sc. Truong Minh            | GAV Vice Chairman , Editor-in-chief              |
| - Prof. Dr. hab. Andreas Weller | Institute of Geophysics, University of Clausthal |
| - Dr. Tran Canh                 | Institute of Geological Sciences, Hanoi,         |
| - Ing. Nguyen Huy Thinh         | Institute of Geological Sciences, Hanoi          |



## Lời tựa Preface

Hội thảo khoa học Việt - Đức khảo sát đê do Viện Địa chất, Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ Quốc gia và Viện Địa vật lý, Trường Đại học Kỹ thuật Clausthal tổ chức tại Hà Nội nhằm đối sánh và thảo luận các vấn đề liên quan đến đê ở Việt Nam và Đức. Mức độ ổn định của các đê sông chịu ảnh hưởng của một loạt vấn đề. Các thành tạo cát nằm ở nền móng đê thường gây ra các hiện tượng thấm. Những công trình xây dựng trên sườn đê và nhiều loài mối làm tổ trong thân đê cũng là các vấn đề ảnh hưởng đến độ ổn định của đê. Độ ổn định kém và các hiện tượng thấm lậu của đê sẽ đe dọa tính mạng con người, hoa màu và hạ tầng cơ sở.

Các nhà khoa học của các Viện nghiên cứu, trường Đại học, các chuyên gia cổ vấn và các nhà quản lý đê đã phát triển nhiều phương pháp để định vị các đối tượng yếu và bảo dưỡng đê.

Các nhà chuyên môn, các nhà quản lý đê giàu kinh nghiệm, các nhà địa chất và chuyên gia công trình gặp nhau tại Hà Nội để thông báo những công nghệ và kinh nghiệm mới nhất trên lĩnh vực nghiên cứu khảo sát đê điều.

Quỹ Volkswagen Stiftung, người tài trợ cho Hội thảo này, đã tài trợ cho các đề án hợp tác khoa học của các viện nghiên cứu Việt Nam và Đức, đã cung cấp các thiết bị kỹ thuật khảo sát đê. Những kết quả của đề án hợp tác, công nghệ mới và thiết bị đo đạc sẽ được giới thiệu trong Hội thảo này. Trên cơ sở các kết quả đã đạt được, các dự kiến cho sự hợp tác Việt Đức trong tương lai cũng sẽ được thảo luận.

Một số nhà khoa học tham gia Hội thảo đã gửi các công trình nghiên cứu hoặc tóm tắt nghiên cứu tới Hội thảo. Chúng tôi biên soạn các tài liệu trên thành Tuyển tập các báo cáo Hội thảo. Chúng tôi hy vọng rằng đại biểu tham gia Hội thảo cũng như các nhà khoa học khác sẽ nhận được những thông tin bổ ích trong Tuyển tập này.

Ban tổ chức chân thành cảm ơn các cơ quan tài trợ cho Hội thảo và Tòa soạn Bản tin Địa cầu đã tạo điều kiện xuất bản chuyên san này.

**T.S. Trần Trọng Huệ**  
Viện trưởng Viện Địa chất  
ITKHM&ENQ  
Institute of Geological Sciences  
VCSF Hanoi

The Vietnamese German Workshop on Dike Monitoring is organised by the Institute of Geological Sciences in Hanoi and the Institute of Geophysics at Technical University Clausthal in order to compare and discuss the problems related to river dikes in Vietnam and Germany. The stability of dikes along the rivers is affected by a diversity of problems. Sandy formations in the dike foundation cause seepage effects. Buildings on the dike shoulders result in stability problems. Various termite species dig their nests in the dike body. Insufficient stability and seepage effects endanger population, agriculture and infrastructure.

Scientists from research institutes and universities, employees from consulting firms and dike management authorities have developed methods to locate weak sections of dikes and to repair the dike body. Specialists and experts with knowledge in dike management, geosciences and engineering meet in Hanoi to present their know-how in dike monitoring.

The VolkswagenStiftung (Germany) that promotes the workshop has supported joint scientific projects of Vietnamese and German institutions that aim at improved technology of dike monitoring. The results of the projects, new methods and equipment will be presented at the workshop. Based on the achievements, proposals for further Vietnamese German co-operation will be discussed.

Some participants of the workshop have submitted their papers or abstracts in advance. We have compiled the material in the proceedings in order to demonstrate both the state of the art and new results in the field of dike monitoring. We hope that the participants of the workshop and other scientists will find useful information in the proceedings.

Organizer express our profound thanks to supporting institutions and Editorial Staff of earth news bulletin created condition for publishing this special issue

**Prof. Dr. Andreas Weller**  
Institute of Geophysics  
Technical University Clausthal  
Viện trưởng Viện Địa vật lý  
Đại học Kỹ thuật Clausthal



## TRONG SỐ NÀY

- 1 Những nghiên cứu địa vật lý và địa kỹ thuật trên đê chống lụt ở Việt nam và Đức.  
Die geophysikalisch-geotechnische Untersuchung von Hochwasserschutzdeichen in Vietnam und in Deutschland. *Ulrich Stötzner.* 5
- 2 Vấn đề bảo vệ đê ở Việt Nam và ứng dụng địa vật lý công trình.  
The problems of dike safety in Vietnam and the application of engineering geophysics.  
*Doan Van Tuyen, Tran Canh, Andreas Weller.* 7
- 3 Mối hại đê miền Bắc Việt Nam.  
Termites in dikes of northern Vietnam. *Vu Van Tuyen.* 10
- 4 Một vài con số thống kê về tổ mối ở hệ thống đê Thái bình và kết quả mô hình hiệu ứng địa điện.  
Some statistics about termite nests in Thai Binh dike system and results of geoelectrical modelling. *Nguyen Trong Vu.* 19
- 5 Khảo sát đê bằng phương pháp địa vật lý.  
Geophysical prospection of dikes. *Burkart Ullrich and Cornelius Meyer.* 25
- 6 Hiệu chỉnh địa hình đê khi sử dụng thiết bị đo sâu điện ba cực.  
Topographic correction for dike geometry using averaged three-electrode configurations. *Andreas Weller, Thomas Hennig, Tran Canh.* 31
- 7 Sử dụng độ nhạy như công cụ để phân tích và nâng cao độ phân giải của hệ cực trong khảo sát đê.  
Sensitivity as a tool to analyse and improve the resolution of electrode configurations for dike investigation. *Sabine Preusse and Andreas Weller.* 37
- 8 Nghiên cứu loại bỏ nhiễu địa hình bằng phương pháp phần tử hữu hạn và ứng dụng cho các số liệu đo cắt lớp địa điện  
Study on removal of geometric distortion by means of finite-element derived correction applied to geoelectric tomographic field records. *Hans-Peter Mueller.* 42
- 9 Nghiên cứu ứng dụng công nghệ địa điện đa cực Phát hiện các ẩn họa trong đê ở Thái bình. *Trần Cảnh, Đoàn Văn Tuyển, Andreas Weller, Sabine Preusse, Nguyễn Trọng Vũ.*  
Application study of multi-geoelectrical technology for finding hidden defects at dikes in Thai Binh. 47
- 10 Khảo sát đê, đập bằng các phương pháp địa vật lý ba chiều: phân địa tầng và xác định vùng thấm không cần khoan.  
3-D investigation of dams and dikes - stratification and detection of disturbed areas nearly without drilling. *Volker Patzold and Wolfgang Thiessen.* 54
- 11 Áp dụng phương pháp phóng xạ nghiên cứu cấu trúc môi trường gần mặt đất. *Trần Cảnh.*  
Application of radioactive method to study structure of subsurface environment 57
- 12 Nghiên cứu ứng dụng địa vật lý xác định tổ mối trong đê, đập. *Ngô Trí Côi, Trịnh Văn Hạnh, Phạm Văn Động, Bùi Đắc Dũng*  
Research on the application of geophysics to locate termite nests in dikes and dams. 65
- 13 Khả năng của phương pháp rada xuyên đất trong khảo sát đê đập ở Việt Nam  
The possibility of Ground Penetrating Radar application for dike and dam investigation in Vietnam. *Nguyen Van Giang.* 69
- 14 Phương pháp Rada xuyên đất trong các vấn đề địa chất thủy văn.  
GPR for hydrogeological problems. *Thomas Richter.* 81
- 15 Phân tích các đối xung yếu của đê Elbe ở Sachsen – Tính toán độ an toàn và các giải pháp duy tu bảo dưỡng đê.  
Schwachstellenanalyse an deichen der Elbe in Sachsen – Standsicherheitsberechnung und wasserbauliche maßnahmen zur sanierung. *R. Lewis & R. Scholz.* 89
- 16 Thiết bị đo địa điện đa cực GMS 150.  
Geoelectric Multielectrode System GMS150. *Andreas Steiner.* 90



## DIE GEOPHYSIKALISCH-GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNG VON HOCHWASSERSCHUTZDEICHEN IN VIETNAM UND IN DEUTSCHLAND

Ulrich Stötzner, Leipzig, Germany  
email: u-stoetzner@t-online.de

### VORBEMERKUNG

Die Hochwasser der letzten Jahre in Vietnam und in Deutschland haben zu grundsätzlich neuen Überlegungen im Hochwasserschutz geführt. Im Gesamtkomplex der wissenschaftlichen Untersuchungen und technischen Maßnahmen, das sind:

- meteorologische Randbedingungen,
- geodätische Aufnahmen,
- hydraulische Berechnungen,
- Geologie und Baugrunderkundung,
- Planung und Bau von Wasserbauten,
- wasserwirtschaftliche Aspekte sowie
- Besiedlung, Umweltschutz und Landwirtschaft, ist die geotechnische und die geophysikalische Erkundung und Überwachung von Deichen ein wichtiger Teil.

### DIE GEOTECHNISCH-GEOPHYSIKALISCHE DEICHERKUNDUNG IN DEUTSCHLAND 1970-1990

In dieser Zeit erfolgten methodische Vorarbeiten und eine systematische Erkundung aller großen Flüsse in der DDR. Die Untersuchungen waren Bestandteil eines umfassenden und langfristigen Programms ohne besondere Hochwasserereignisse. Erst die starken Hochwässer an der Oder 1998 und in Sachsen 2002 haben die Aktivitäten neu belebt.

### AUFGABENSTELLUNGEN

Die Aufgaben können sowohl in Deutschland als auch in Vietnam oder in anderen Ländern, wie z.B. in Italien oder in China verschieden sein. Im einzelnen sind folgende Angaben über die Deiche zu gewinnen:

- Aufbau des Deichkörpers (Materialzusammensetzung),
- Beschaffenheit des Untergrundes,
- Wasserdurchlässigkeit,

### NHỮNG NGHIÊN CỨU ĐỊA VẬT LÝ VÀ ĐỊA KỸ THUẬT TRÊN ĐÊ CHỐNG LỤT Ở VIỆT NAM VÀ ĐỨC

#### ĐẶT VẤN ĐỀ:

Trong những năm gần đây, tình hình lũ lụt ở Việt Nam và ở Đức gia tăng làm xuất hiện những suy nghĩ mới về phòng chống chúng. Vấn đề đặt ra là cần thiết thực hiện tổ hợp các nghiên cứu khoa học và các giải pháp kỹ thuật để giải quyết các yêu cầu sau:

- Đánh giá các điều kiện khí tượng,
- Chụp ảnh địa hình,
- Tính toán thủy văn,
- Lập kế hoạch và xây dựng các công trình tưới tiêu,
- Kinh tế sử dụng nước,
- Bảo vệ môi trường và kinh tế nông nghiệp.

Các vấn đề này thuộc phần quan trọng của công tác thăm dò địa vật lý và địa kỹ thuật nhằm duy tu bảo dưỡng đê.

### NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT ĐÊ BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ VÀ ĐỊA KỸ THUẬT Ở ĐỨC TỪ 1970 ĐẾN 1990

Trong thời gian này, các công tác nghiên cứu và khảo sát đã được triển khai một cách hệ thống trên tất cả các sông lớn ở Cộng hòa dân chủ Đức. Các nghiên cứu này đã là bộ phận của chương trình dài hạn và ngắn hạn nhằm đảm bảo duy trì tính ổn định của đê đảm bảo không gây các sự cố đặc biệt trong mùa nước lũ. Mãi đến mùa lũ 1998 và 2002 mới xảy ra sự cố tai họa lũ lụt vùng sông Oder và Sachsen.

### CÁC NHIỆM VỤ

Các nhiệm vụ nghiên cứu trên đê, ở Đức và ở Việt Nam cũng như ở các nước khác, chẳng hạn Ý, Trung Quốc đều phải quan tâm là:

- Tìm hiểu cấu trúc thân đê (các loại vật



- Einlagerungen (Festkörper, Hohlräume),
- Standsicherheit.

#### LÖSUNGSWEGE

Die Lösung der Aufgaben geschieht stets in der Zusammenarbeit zwischen Geologie, Geotechnik und Geophysik. Von den geophysikalischen Methoden kommen je nach Situation und Aufgabenstellung verschiedene Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen in Betracht:

- geoelektrische Multielektrodenmessungen,
- kerngeophysikalische Verfahren,
- Geothermie,
- Ground penetrating radar,
- Elektromagnetik,
- hochauflösende seismische Verfahren,
- Eigenpotentialmessungen.

Bei der Auswahl der Verfahren spielt immer auch der Zeitaufwand im Verhältnis zu dem geforderten Auflösungsvermögen eine Rolle.

#### ANWENDUNGEN

Nach einer über 40-jährigen praktischen Erkundungstätigkeit kann auf eine Vielzahl von Anwendungsbeispielen verwiesen werden. Inzwischen liegen auch Erfahrungen über die Eintreffenswahrscheinlichkeit von Prognosen, d.h. über vorhergesagte Deichbrüche vor. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollten zukünftige Deicherkundungsprogramme erstellt werden.

#### SCHLUSSBETRACHTUNG

Die geotechnisch-geophysikalische Deicherkundung ist ein vornehmlich in Deutschland entwickeltes, inzwischen weltweit anerkanntes Verfahren bei der Bewertung vorhandener und dem Bau neuer Deiche. In Anbetracht der zunehmenden Katastrophen sollten schnell länder- und regionalspezifische Erkundungsprogramme entwickelt werden, die in einer überschaubaren Zeit den in Hochwassergebieten lebenden Menschen die nötige Sicherheit bringen.

liệu đắp đê),

- Phát hiện các vị trí thấm, rò rỉ,
- Các vị trí xung yếu (ẩn khuyết trong thân đê, lỗ hổng)
- Chất lượng và độ ổn định của đê.

#### GIẢI PHÁP

Để giải quyết các vấn đề về đê, thông thường là tạo ra một sự hợp tác chặt chẽ giữa các ngành khoa học địa chất, địa vật lý và địa kỹ thuật. Tùy theo hoàn cảnh thực tế và yêu cầu đặt ra mà cần sử dụng riêng rẽ một phương pháp hay tổ hợp các phương pháp khác nhau. Đối với các phương pháp địa vật lý cũng cần tổ hợp sau:

- Các đo đạc địa điện đa cực,
- Phương pháp phóng xạ,
- Phương pháp địa nhiệt,
- Rada xuyên đất,
- Phương pháp điện từ,
- Phương pháp địa chấn phân giải cao,
- Đo thể một cực

Khi lựa chọn phương pháp áp dụng thì chỉ phí thời gian thực hiện và khả năng giải quyết nhiệm vụ đặt ra của mỗi phương pháp là rất quan trọng.

#### CÁC ỨNG DỤNG

Sau hơn 40 năm hoạt động thực tế có thể dẫn ra nhiều ví dụ ứng dụng. Vấn đề cần quan tâm hiện nay là xây dựng cơ sở dữ liệu và các chương trình nghiên cứu với mục đích dự báo trước được nguy cơ tai họa đối với đê.

#### KẾT LUẬN

Công tác khảo sát đê bằng các phương pháp địa vật lý và địa kỹ thuật đã được phát triển mạnh ở Cộng hòa liên bang Đức. Những phương pháp mới đã được ứng dụng để đánh giá chất lượng các đê hiện có và chuẩn bị luận cứ khoa học, kỹ thuật cho công tác xây dựng các đê mới.



## THE PROBLEMS OF DIKE SAFETY IN VIETNAM AND THE APPLICATION OF ENGINEERING GEOPHYSICS

Doan Van Tuyen<sup>(\*)</sup>, Tran Canh<sup>(\*)</sup>,  
Andreas Weller<sup>(\*\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Institute of Geology NCST of Vietnam  
18 Hoang Quoc Viet - Cau Giay - Hanoi - VIETNAM

<sup>(\*\*)</sup> Institute of Geophysics T.U. Clausthal,  
Arnold-Sommerfeldstr. 1, D-38678 Clausthal-Zellerfeld, GERMANY

### TÓM TẮT

#### VẤN ĐỀ BẢO VỆ ĐÊ Ở VIỆT NAM VÀ ỨNG DỤNG ĐỊA VẬT LÝ CÔNG TRÌNH

Bài báo nêu sơ lược những đặc điểm và tầm quan trọng của hệ thống đê chống lụt ở Việt Nam. Nguyên nhân chính gây ra sự nguy hiểm và làm mất ổn định nền đê là do các yếu tố cấu trúc địa chất và địa mạo, vật liệu đắp đê có độ gắn kết yếu và có nhiều khuyết tật do quá trình tôn tạo chủ yếu bằng thủ công. Các hiện tượng gây nguy hiểm dẫn đến vỡ đê là sạt lở do dòng chảy, thấm lậu và mạch bùn sủi do áp lực nước lũ, các tổ mối và nứt nẻ ngầm trong thân đê...

Các hiện tượng nguy hiểm này thường chỉ được phát hiện bằng các quan sát kiểm tra thông thường vào mùa lũ nên các biện pháp sửa chữa khắc phục sẽ khó khăn và tốn kém. Việc đưa các kỹ thuật để xác định, dự báo các vị trí có ẩn họa trong thân đê và nền đê là nhiệm vụ được các cơ quan quản lý và các nhà khoa học quan tâm. Các kết quả áp dụng một số phương pháp địa vật lý công trình (như địa điện, hồng ngoại nhiệt, phóng xạ trong lỗ xuyên) trên một số đoạn đê ở Hà Nội, Hà Tây, Bắc Ninh, Thái Bình cho thấy khả năng phát hiện ẩn họa đê thuận tiện và đầy đủ hơn.

Các thành tựu mới của phương pháp địa điện do CHLB Đức chuyển giao: thiết bị đo đa cực GMS-150, phần mềm xử lý phân tích 2 chiều, 3 chiều cho khả năng cung cấp thông tin phong phú về các dạng ẩn họa; thiết bị đo điện trở suất để sử dụng "Geolight" có thể trang bị cho các đội quản lý đê... làm tăng năng suất và giảm giá thành cho công tác khảo sát đê. Các tác giả kiến nghị sử dụng phương pháp này để thu thập tài liệu và từng bước xây dựng cơ sở dữ liệu về cấu trúc cho toàn bộ hệ thống đê. Điều đó sẽ giúp cho công tác quản lý và đề xuất các biện pháp sửa chữa, bảo dưỡng đê hợp lý và thuận tiện hơn.

The flood is one of the largest events of natural hazards in Vietnam. During the monsoon period from June to September, the precipitation reaches up to 3000 l/m<sup>2</sup> (or 3 m of rainfall).

For many centuries, the dike network has been constructed, maintained and extended to defend people against the flood.

The history remarked many flooding events damaged river dike, destroyed large agricultural production and civil material (houses, transport constructions, etc), estimating the value up to some billion dollars, and affected the life of million people.

Today, in Vietnam, the network of river dike, having a total length of more than 5000 km, covers the most coastal and middle land territory of the country. The social and economic development, especially the agricultural economy of the country largely depends on the safety of the dike system. Since some dike sections cross and are based on different geological and topographic (formations) foundation, stability problems are unavoidable. The instability of the dike is caused by other reasons:

- The dike body has been constructed for a long time by labor power and using locally available unconsolidated material doing inhomogeneity and defects avoids cavity in some dikes.



- One another dangerous effect is the change of the course of water flow in river hollowing out material at border and under some dike sections and their foundation.
- In addition, some dike bodies are good environment for various tropical species of animal such as termites.
- Every year, during rainy season, the water flow results in strong pressure on the dikes and their foundations.

All above distinct reasons make the diversity of problems. In some places where are sandy formation, the dike foundation cause seepage effects. In some sections of dike, strong damage is caused by slides in result of the change of water flow. Other sections suffer from foundation damage caused by piping appearing fountains in weak surface layer, dike body damage caused by species of termite.

In recent, despite the efforts of thousand of people who are engaged every time to manage and control the dike. Today controlling work for recognizing the dangerous place: On the dike, we can carry out only in flooding time only by regarding means. While the flooding water -level is high, the work preparation is, of course very difficult and cost is often prohibitive.

Since the practical demands, the uses of technology and experiences from other countries to solve problems of river dike safety in Vietnam occurred the attention of not only State Agencies for dike management and flooding control, either and Scientific Institutions so.

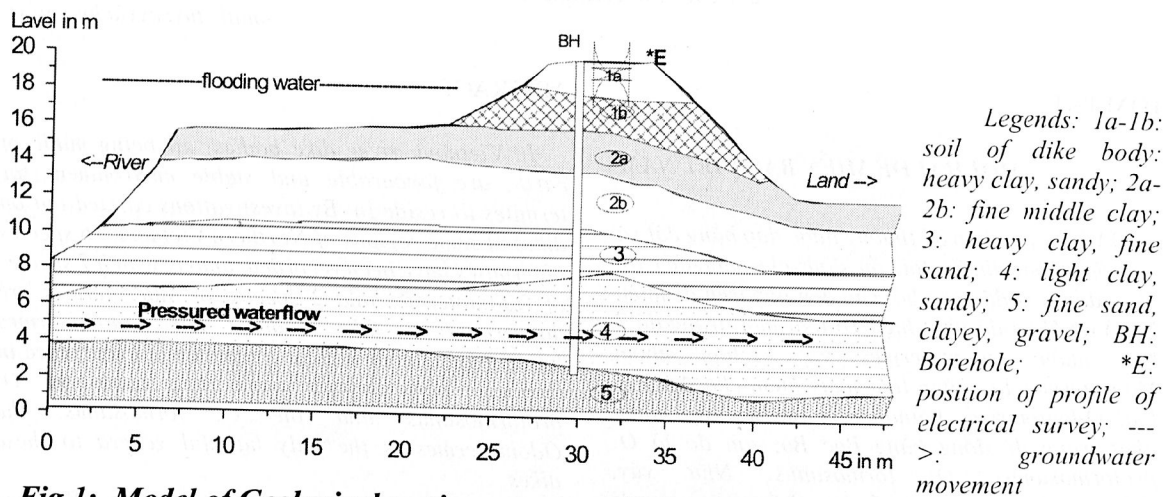
Vietnamese geophysicists of the Institute of Geology at the National Center for Natural Sciences and Technology (NCST) started investigating on river dikes in Northern Vietnam since 1980. During the period from 1980 to 1994 investigation in general by electrical method carried out at different dike sections such as Gia Luong (Bac Ninh province), Van Coc (Ha Tay province), Thanh Tri, Nghi Tam, Gia Lam (Hanoi). Because of the technical limitations: the old equipments such as UJ -18 (made by China), GESKA (made by Czech) gave low efficiency, interpretation data based on simple 1-D technique,... but results of these investigations has been helped to locate variety defects in dike bodies in Gia Luong, Thanh Tri, divided numeros of weak fundament in Van Coc, Gia Lam.

During the period 1991-1999 under the co-operation between Vietnamese and Germany geophysicists, the advanced methods and equipment of investigation has been improved. The pocket-micro equipment made by Germany is suite one for investigating work on the dike: resistivity and Induced polarization (IP) measurements, small weight and size, its operation is simple. This advantage let us think about possibility using it largely to until to control dike teams (crews). Together electrical method other geophysical techniques were launched to investigate and gather more reaches information about problematic dike more detail than electrical method alone. The experiences were carried out successfully in different conditions of dike such as on the section covered asphalt surface in Nghi Tam (Hanoi), in the Ba Vi (Ha Tay) for locating pathway of pressured water through dike fundament. In addition, the data interpretation based on the 2D technique has helped to increase the quantity and efficiency of investigation.

Especially in last two years, by the support from German foundations Vietnamese specialists had been accepted the modern technology in engineering geoelectrics. It is the multielectrode equipment Geosys-150 and 3D interpretation software. Applied results on the some dike sections in Thai Binh province by the new technique showed better resolution and high efficiency, and larger possibility to solve almost problems in both a body and fundament of the dike for carful depth. Below some results of the practical examples are illustrated.



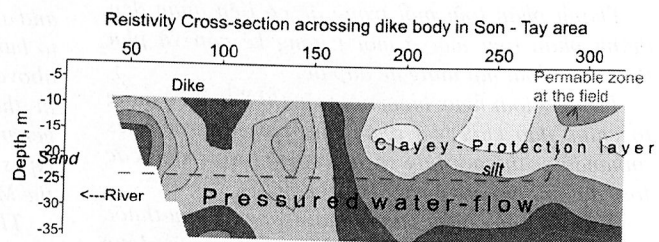
Instead the conclusion the report focuses the points: Electrical methods with their advantage are main tool to find local fracture zones, dangerous perm able zones, fractures, cavities and termite nests in dike. In fact, electrical mapping has help to divide problematic



**Fig.1: Model of Geological section crossing dike in Ba Vi district**

weak section in both body and fundament of dike. Specific advances of the technique are non-invasive and non-destructive by nature, they are suitable for investigation during all careful time as a flooding as a drying seasons. Since efficient technology in recent, the electrical method can be

used, step by step, for gathering database reflecting the structural situation of all dike network in Vietnam. It can play role of main archive of dike is being useful and needed for management agencies in order to do plane and choice necessary means to controlling and repairing works. Today this recommendation is actual and possibly realizable.



**Fig.2: Resistivity Cross-section through dike in Ba Vi district**



## TERMITES IN DIKES OF NORTHERN VIETNAM

Vu Van Tuyen

Centre for the Treatment of Termites & Subsurface Defects (CTSD), Hanoi  
e-mail: tuyenvv@hn.vnn.vn

### TÓM TẮT

#### MỐI HẠI ĐÊ MIỀN BẮC VIỆT NAM

Ở Việt nam, thân đê thường được đắp bằng đất và là môi trường thuận lợi, ổn định cho mối làm tổ. Theo dẫn liệu đã công bố, cho đến nay trên đê miền Bắc Việt Nam đã phát hiện 16 loài mối, trong đó 7 loài nhóm *Odontotermes* và 2 loài nhóm *Macrotermes* là những loài nguy hiểm cho đê. Mối loài *Odontotermes hainanensis* thường gặp nhiều nhất trong đê đồng bằng Bắc Bộ, sau đó là *O. proformosanus*, *O. formosanus*. Như vậy, *Odontotermes* là giống mối duy nhất có hại cho đê đồng bằng Bắc Bộ.

Thành phần loài mối trong đê có liên quan đến thành phần loài mối ở môi trường kế cận và phụ thuộc vào loại đất dùng để đắp đê.

Trong 9 loài nguy hiểm nói trên thì 8 loài có dạng tổ chìm, đào khoét và phân tán, còn *Macrotermes annandalei* thường làm tổ nổi và tồn tại trong các loại đất đồi núi cùng với *M. barneyi*.

Mức độ nguy hiểm của tổ mối trong đê phụ thuộc vào độ sâu và thể tích lỗ rỗng do mối tạo nên, đồng thời phụ thuộc vào hệ thống các hang giao thông ngầm nối liền tổ mối với 2 mái đê. Những hang ngầm này có thể gây nguy hiểm cho đê trong mùa lũ, tuy nhiên cho đến nay chưa được quan tâm đúng mức.

Trong thân đê có thể tồn tại đồng thời nhiều tổ mối thuộc các loài khác nhau với mức độ phát triển khác nhau từ những khe lỗ rất nhỏ đến các tổ lớn. Hiện nay nhiều phương pháp khác nhau về thăm dò và xử lý tổ mối đã được sử dụng với một số kết quả, tuy nhiên nhìn chung những tổ to và nông thì tương đối dễ tìm, còn việc phát hiện những tổ tương đối nhỏ và sâu, nhất là trong giống *Odontotermes*, thì không phải là việc dễ dàng mà *Odontotermes* lại là giống nguy hiểm nhất và có độ thường gặp lớn nhất.

Như vậy rõ ràng rằng trong việc xử lý tổ mối trong đê còn nhiều điều tồn tại cần phải giải quyết, trong đó bên cạnh các việc khác, đã đến lúc cần nghĩ đến việc hạn chế sự xâm nhập và phát triển các đàn mối trong đê đồng thời với việc cải tiến phương pháp xử lý mối.

### ABSTRACT

In Vietnam, river dike bodies, all being made of earth, are favourable and stable environment for termites to reside in. By investigations carried out on dikes of some regions of Northern Vietnam, 16 species of termites have been recorded, among which 7 species of *Odontotermes* and 2 species of *Macrotermes* are dangerous to dike bodies. The *Odontotermes hainanensis* is of highest frequency of occurrence in northern part Delta's dikes then come the *O. proformosanus* and the *O. formosanus*, the *Odontotermes* is the only harmful genera to these dikes.

The composition of termites in a dike is influenced by the composition of termites in the surrounding area and also depends on the characteristics of the soil used to build this dike. 8 of 9 dangerous species mentioned above are of subterranean, dispersed nests, excavated in the dike body. But the *Macrotermes annandalei* generally builds mound-nest and occurring in some types of soil from the hill and the mountain, as well as the *M. barneyi*.

The level of danger caused by a termite nest to a dike body depends on the depth and the volume of holes caused by termites, and the system of gallery-tunnels connecting the termite nest with the two flanks of the dike. But the importance of the later is not so far of proper concern.

In a dike body, there might be simultaneously numerous termite nests of various species at different stages of development, from very tiny newly built holes to large ones. Many methods of detection and treatment have been currently used with some success, however, general speaking, it is not difficult to discover shallow and large nests but not easy to locate those nests which are relatively deep down and not large, mostly those of *Odontotermes*, while *Odontotermes* is a genera of the most danger and high frequency of occurrence.

It is clear that to deal with termites in dikes of Vietnam, there is much to do, for this reason, beside other works, it is time to think about the restriction of the infestation and the development of termite colonies in dikes simultaneously with the improvement of.



## SOME BIO-ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TERMITES IN DIKES

In Vietnam, river dike bodies, all being made of earth, are favourable and stable environments for termites to reside in. Termite nests occurring inside the dike bodies are one of the main causes for dangerous incidents such as leakage, erosion, and depression, which lead to dike breakages.

With respect to bio-ecological research on termites in dikes, there are various publications of different authors, such as Nguyen Duc Kham (1976), Vu Van Tuyen (1982), Nguyen Duc Kham and Vu Van Tuyen (1985), Bui Cong Hien and Nguyen Van Quang (2000), Nguyen Tan Vuong (2000), Ho Anh Tuan (2001)...

Almost all termite surveys are carried out in the Northern part of Delta's dikes while just a few in dikes of midland and highland regions. It means that these surveys have covered some landscapes only. For this reason, the species listed hereunder (Table 1) cannot represent the situation of termites in dikes all over the Vietnam's territory.

Table 1- List of termites in dikes of Northern Vietnam

Number	Termite species	Number	Termite species
1	Microtermes dimorphus	9	O.profeae
2	Mic. pakistanicus	10	O.angustignathus
3	Microcerotermes bugnioni	11	O.ynnanensis
4	Macrotermes annandalei (Fig. 1a)	12	O.giriensis
5	M. barneyi	13	C.travians
6	Odontotermes hainanensis (Fig.1b)	14	Globiterme sulphureus
7	O.formosanus	15	Termes comis
8	O.profomosanus	16	T.majoriae

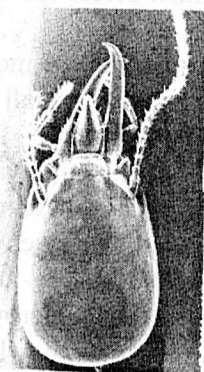


Fig. 1a: Soldier's head of a species of *Macrotermes annandalei*

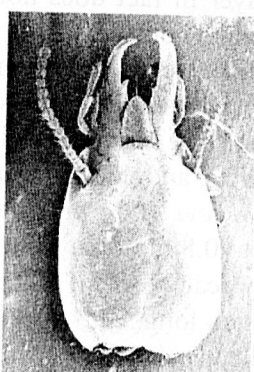


Fig. 1b: Soldier's head of a species of *Odontotermes hainanensis*

In dikes of Northern Vietnam, 16 species of termites have been recorded. Among them, the *Odontotermes hainanensis* is of highest frequency of occurrence. As it is able to reside in earth of different types, it can appear almost everywhere. The *O.proformosanus* and the *O.formosanus* are the next to be frequently seen.

In hilly and mountainous areas, beside the group of *Odontotermes*, the following species can be met: the *Microtermes dimorphus*, the *Mic.pakistanicus*, the *Macrotermes annandalei*, the *M.barneyi*, the *O.ynnanensis*...

In Central Vietnam, from Thanh Hoa province toward the South, the composition of termites in dikes is always added by the presence of the *Globitermes sulphureus*, the *Termes comis*, the *T.majoriae*...



The *Coptotermes travians* likes to nest inside tree trunks with the diameter of 0,3 m upwards, and in principle, big trees are not allowed to grow on dike bodies, so this species is not an official resident in dikes.

An investigation made by Nguyen Tan Vuong (2000) showed that termites are not available in sea dikes.

Different from dikes, the termite in dams is more abundant: 61 species have been recorded (Vu Van Tuyen, 1994) (see table 2), and the number of species collected so far may be even more. Why? Because investigated dikes are situated mostly in Northern part's Delta, while investigated dams are distributed in hilly and mountainous areas with various landscapes and geographical regions.

The compositions of termites in dikes and dams are influenced by the composition of termites in the surrounding area, but in dike and dam bodies the number of species is always less abundant because the environmental conditions in dikes and dams is different from those in the surrounding area.

## TERMITE NEST STRUCTURE

16 species of termites mentioned above may be classified into the following groups basing on their nest structure.

### 1. General characteristics of each group:

*Group 1 - Microtermes dimorphus* and *M. pakistanicus* are fugus-growing termites building up their subterranean tiny shallow nests by means of excavation in dike body. The nest includes a main chamber with diameter of about 0.2 m, and a number of surrounding small auxiliary chambers which all locate not deeper than 0.2 m from the ground surface. These species, therefore, are not harmful to dike.

*Group 2 - Globitermes sulphureus, Termes comis, T.majoriae* do not build their nest by means of excavation in dike body. Their nests are generally an epigeous grey-dark mass with an earth layer as the protection cover. This thin layer in fact does not much affect the dike, therefore these species are considered unharmed to dike body.

*Group 3 - Microcerotermes bugnioni* makes tiny dispersed nests either in the wall of mound nests of other species or in ground as independant nests. The nest is a group of small and shallow holes with a black mass inside. This species is not harmful to dike body, too.

*Group 4 - C.travians* builds nests inside tree trunks, and does not empty the dike body.

*Group 5 - Macrotermes annandalei* and *M. barneyi* *M.barneyi* builds their concentrated nest excavated in dike body. The nest is just 0.5 m to 0.8 m down from the earth surface while the main chamber's diameter at their maturity may reach 0.8 m. Underground gallery-tunnel can run very far, even upto nearly one hundred meters long. This species is very dangerous to dike and easy to cause depression and underground corrosion. In swarming seasons, they build swarming holes, which are different from those of *Odontotermes*.

*M.annandalei* builds their concentrated nest almost above ground but a part underground. The earth they used to build the mound is brought from the lower layer, so this species in nature builds their nest by excavation in dike bodies, so they are really harmful. A natural nest of this species may develop up to several meters wide and several meters high.



Group 6 - which is the most important group as it includes various *Odontotermes* species, which build their hypogeous and dispersed nest by excavation. This group is very harmful to dike body. In the delta of the North, *O.hainanensis* is typically a wide-distributing species.

Table 2

<u>Family Kalotermitidae</u>	
1	<i>Cryptotermes domesticus</i> Hav.
<u>Family Termopsidae</u>	
2	<i>Hodotermopsis sjostedti</i> Holm.
<u>Family Rhinotermitidae</u>	
3	<i>Rhinotermes chinensis</i> Snyder
4	<i>Schedorhinotermes magnus</i> Tsai & Chen
5	<i>S. tanakanensis</i> Hav.
6	<i>S. sarawakensis</i> Hav.
7	<i>S. javanicus</i> Kemner
8	<i>S. medioobscurus</i> Holm.
9	<i>S. malaccensis</i>
10	<i>Coptotermes formosanus</i> Shir.
11	<i>C.ceylonicus</i> Holm
12	<i>C.travians</i> Hav.
13	<i>C.havilandi</i> Holm.
14	<i>C.dimorphus</i>
<u>Family Termitidae</u>	
15	<i>Globitermes sulphureus</i> Hav.
16	<i>Microcerotermes bugnioni</i> Holm
17	<i>M.crassus</i> Snyder
18	<i>M. dammermani</i>
19	<i>Termes comis</i> Hav.
20	<i>T. majoriae</i> Hav.
21	<i>Macrotermes annandalei</i> Silv.
22	<i>M. bameyi</i> Light
23	<i>M.gilvus</i> Hag.
24	<i>M. gilvus</i> subsp.
25	<i>M.carbonarius</i> Silv.
26	<i>M.latignathus</i> subsp.
27	<i>M.malaccensis</i>
28	<i>M.sp.</i>
29	<i>Microtermes dimorphus</i> Tsai & Chen
30	<i>M. pakistanicus</i> Ahmad
31	<i>M.obesi</i> Holm.
32	<i>Hypotermes makhamensis</i>
33	<i>H. sp.</i>
34	<i>Odontotermes graveli</i> Silv.
35	<i>O.yunnanensis</i> Tsai Chen
36	<i>O.horni</i> Wasm.
37	<i>O. feae</i>
38	<i>O. angustignathus</i> Tsai & Chen
39	<i>O. djampeensis</i> Wasm.
40	<i>O. hainanensis</i> Light
41	<i>O. formosanus</i> Shir.
42	<i>O. proformosanus</i> Ahmad
43	<i>O. pahamensis</i> Duc kham
44	<i>O. obscuriceps</i> Wasm.
45	<i>O.sumatrensis</i>
46	<i>O.malaccensis</i>
47	<i>O.cornignathus</i>
48	<i>O.latignathus</i>
49	<i>O.ceylonicus</i>
50	<i>O.sp1</i>
51	<i>O.sp2</i>
52	<i>Procapritermes nitobei</i> Shir.
53	<i>P. sowerbyi</i> Light
54	<i>P.sp.</i>
55	<i>Pseudocapritermessp.</i>
56	<i>Pericapritermes sp.</i>
57	<i>Microcapritermes sp.</i>
58	<i>Nasutitermes gardneri</i> Snyder
59	<i>N. sp.</i>
60	<i>Bulbitermes prabhae</i>
61	<i>Discuspiditermes sp.</i>

A mature *O.hainanensis* nest is composed of a main hemisphere chamber with the diameter of from 0.4 m to 0.6 m or even more, the depth from ground surface to chamber top of from 1m to 3 m. In the main chamber, there is a mass of fungus garden and a royal cellule for the king and the queen. There are also many auxiliary chambers with diameter of more or less 0.1 m distributing around and above the main chamber. The number of auxiliary chambers is numerous, sometimes up to hundreds.

From the main chamber, termites make galleries-tunnels connecting to auxiliary chambers and to the two flanks of the dike. Through these tunnels, termites forage for food and



moisture. At a dam site of Ha Giang dam, local people recognized that the termites could go down even to the depth of 10 m below the dam foundation.

A study by Darlington (1982) on *Bellicositermes michaelsoni* species has shown that the tunnels can run up to 50 m and the overall length of the tunnel cluster of a mature nest may reach 6 km.

In our opinion, these galleries-tunnels play a very important role in the mechanism of water leakage in dike and dam body. It is known that a termite nest in dike body is well waterproofing, in addition to that, the termite colony itself is able to protect their nest by backfilling the tunnels whenever attacked.

Imagine that if a nest has no tunnel but only a single chamber of which the wall is impermeable, locating in a big dike body of more or less 10 m wide, then such an imaginative termite nest cannot cause the water infiltration into dike. This assumption can show that it is the hypogeous tunnel system that enables water to infiltrate into the dike body from upstream to downstream.

Table 3: Types of termite nests in dikes

Species	Situation of main chamber		Type of chamber distribution		Types of structure	
	hypogeous	epig-nous	dipersed	concentrated	excavation	accumulation
<i>Mic. dimorphus</i>	+		+		+	
<i>Mic. pakistanicus</i>	+		+		+	
<i>Microc. bugnioni</i>	+		+			
<i>Mac. annandalei</i>	+	+		+	+	
<i>Mac. barneyi</i>	+			+	+	
<i>O. haianensis</i>	+		+		+	
<i>O. formosanus</i>	+		+		+	
<i>O. profeae</i>	+		+		+	
<i>O. angustignathus</i>	+		+		+	
<i>O. yunnanensis</i>	+		+		+	
<i>O. giriensis</i>	+		+		+	
<i>Glob. sulphureus</i>		+		+		+
<i>Termes comis</i>		+		+		+
<i>Termes majoriae</i>		+		+		+

Though the tunnels are of such importance, it is quite regretful that in Vietnam due attention hasn't been yet paid to in both research and treatment of dam- or dike-damaging termites.

Other species of *Odontotermes* genera in general have their nests more or less the same to *Odontotermes hainanensis* therefore no more description is needed here.

In Table 3, you can see the classification of termite nests of various species according to their location as compared with dike surface, to the allocation of chambers, and to the type of structure.



## 2. A glance at the development process of a termite nest

Our descriptions above are about mature nests, anyway, it is not true that they have the shape and dimensions as described above right from their early time.

Thai Bang Hoa, Tran Ninh Sinh, by studying termites in Chinese dikes, have divided the development process of *O. formosanus* into 7 stages. Below are some information about the forming and development of a termite colony during main stages:

First of all, when a couple of winged termites meet each other, lose their wings, pair and find a small hole to stay at as their initial residence (possibly under a rock or a crack in dike), then the termite nest's dimension and depth at that time are negligible, and the colony has only two individuals that are the founding members.

Some days after that, termites begin laying and then some first larvae appear. By time, the colony becomes more and more crowded; the nest is more and more widened, deepened and complicated.

When the colony is mature (about 5 years afterwards), the flight for swarming happens. Then, swarming holes (or swarming cones) can be seen on the ground surface.

When the queen is old and less opivorous (irrespective of the replacement of queen), the population in the nest reduced, there is no more swarming flight, then the swarming holes (or swarming cones) no longer appear.

When the colony dies, there are absolutely no signs of their existence in the ground, but the holes they created remain inside dike body.

Swarming holes (and swarming cones), therefore, appear in dike just in a certain period during termite development process. They do not exist before or after that period, though termite nest still exists inside dike body.

## COMMENTS ON THE USED OR BEING USED METHODS OF DETECTION AND TREATMENT OF TERMITE NEST

Many authors have studied and proposed methods to detect and treat dike termite nests, such as Lam Quang Thiep (1972), Vu Van Tuyen (1977a, b; 1982; 1984; 1985; 1989; 1990; 1991a, b...; 1994 a,b...; 1996...), Nguyen Ba Chap (1977), Nguyen Phung (1978), Tran Canh (1995, 2000), Nguyen Van Giang (1999, 2000). Besides, many methods were proposed in other research reports of dike management cadres.

1. *Viewpoint:* In our opinions, the treatment of termite nest inside dike body should meet the following requirements:

To eradicate the colony (including the king, the queen, and all other individuals so that the colony cannot develop again).

To backfill all empty holes they created including galleries-tunnels to eliminate the infiltration of water into dike body.

Hence, the assessment of all treatment methods should base on such criteria.

## 2. Some comments:

Queen-capture method by excavation based on swarming holes: This method, though simple as only 3 ~ 4 m<sup>3</sup> of earth is excavated for each nest, is not able to eradicate the colony,



so most of colonies will be operative again after a period of interruption. This effect is proven by both domestic and overseas research. On the other hand, not all galleries-tunnels are eliminated by this method, as if yes, the excavation workload is quite great.

Mortar injection according to coordinates: The main target of this method that the author (Nguyen Phung, 1978) proposed is to reinforce dikes. During the dike reinforcement, a nest, if found accidentally, will be treated, but in fact such probability is quite few.

Geo-physical detection methods: Lam quang Thiep (1972), having studied the possibility of using electric-resistance to detect termite nests in dike. For model testing, he used a ball (in lieu of termite nest) in a water tank (in lieu of dike body's earth environment) and came to a conclusion that this method was able to detect those "nests" of which the depth (h) should not exceed three to four times their diameter (d).

Table 4 – Diameter and depth of some *O.hainanensis* nests on Red river dike, Tu Liem, Hanoi

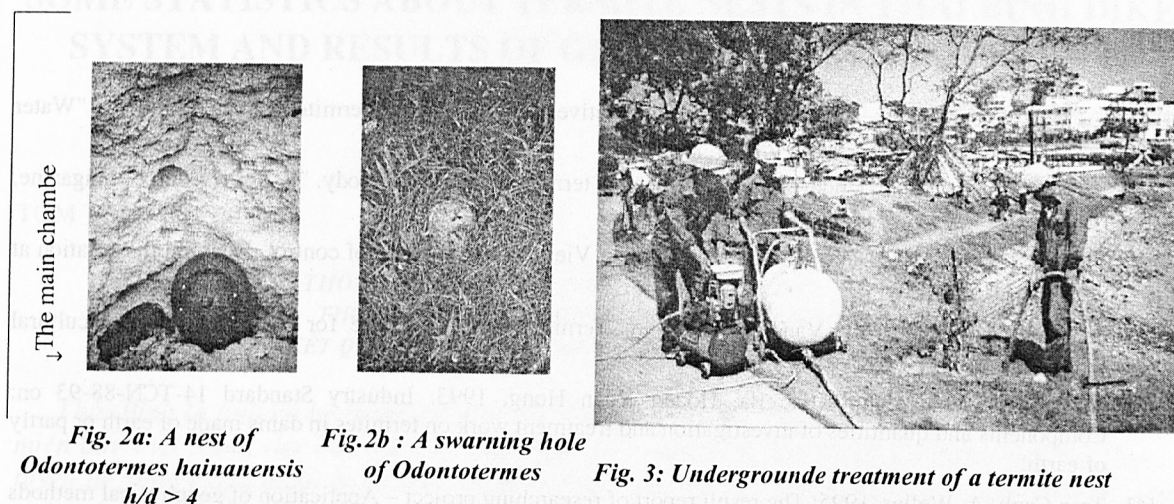
Nest number	Depth (h) (m)	Diameter (d) (m)	h/d	Nest number	Depth (h) (m)	Diameter (d) (m)	h/d
1	1,4	0,45	3,1	7	1,6	0,35	4,5
2	1,2	0,35	3,4	8	1,3	0,3	4,3
3	1,45	0,4	3,6	9	1,6	0,3	5,3
4	1,5	0,3	5	10	2	0,45	4,4
5	1	0,45	2,5	11	1,6	0,4	4
6	1,5	0,4	3,6	12	2	0,4	5

Based on this conclusion, we re-checked by calculating the h/d ratio of 12 *O.hainanensis* termite nests on a Red river dike section (see Table 4 and Fig. 2) of Tu Liem commune and found that the percentage of those meeting such experimental conditions is just 50%. On the other hand, the resistance in dike ground environment is not homogenous at all, not as the water environment in the laboratory. Therefore, site survey can hardly detect main chambers, except auxiliary chamber clustered near the surface or nests enlarged due to underground erosion.

In 1977, we supposed that once the underground main chamber was detected, the treatment would be easy due to pumping under pressure the termiticide solution and then the mortar directly into the main chamber, inject them into the tunnel system (Vu Van Tuyen, 1977(b)) (Fig. 3). By this way, the treatment would meet the requirements raised in 1 and no excavation is needed then.

For this purpose, first of all, we carried out the application of gamma-absorption method for the detection of termite nest inside dike body. To determine whether the colony is still surviving or not, we used a Japanese SD3-model sonic detector, putting its antennae into the nest chamber (Vu Van Tuyen, 1977a). This method though can help to detect relatively small and deep nest is less convenient. Its main weakness is that many holes should be perforated for detection purpose-although they are just boreholes with dia. of about 20 mm and made manually. From 1982 afterwards, we initiated a combined method of detection and treatment which benefits the advantages of different methods, and applied suitable measure to each group of termite nest.





Since 1994, according to the Industry Standard (code 14 TCN 88-93) issued by the Ministry of Water Resource, this combined method has been used as the fundamental method for the detection and treatment of termite nest in dams. Anyway, more improvements there of is needed to improve its effectiveness.

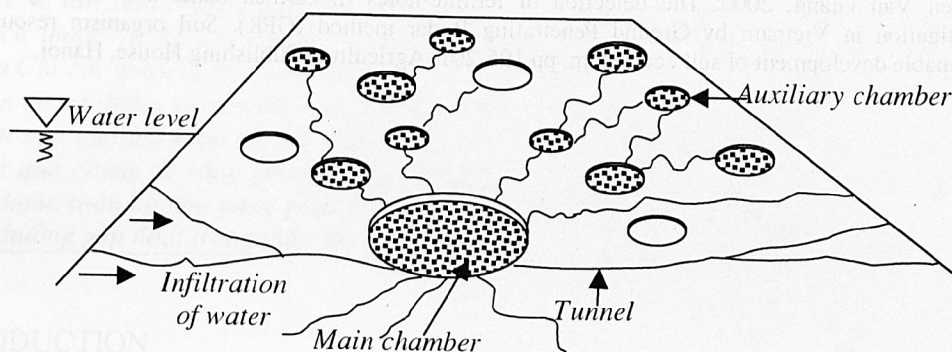


Fig. 4: Structure of a nest of *O.hainanensis* in dike body

## CONCLUSION

In the control of termites in dikes of Northern Vietnam, some results have been achieved in the bioecological research as well as in the detection and treatment of termite nests, however there is much to be done. The number of termite nests treated every year is quite great, but the figure of those undetected in dike body may be much more because it is very difficult to detect newly-built and deeply-located small nests, let alone the winged termites from the surrounding area infesting into the dike for nesting.

In order to improve the termite control, we maintain that in addition to the improvement of detection method, it is now time for us to limit the infestation and development of termites in dike body.

## REFERENCE

- [1]. Vu Van Tuyen, 1977a: The application of radioactive method to detect termite nests in dike body. "Water Resource" magazine, No. 01, 1977.
- [2]. Vu Van Tuyen, 1977b: Underground treatment of termite nests in dike body. "Water Resource" magazine, No. 03, 1977.
- [3]. Vu Van Tuyen, 1982: Dam-damaging termites in Vietnam and method of control. Doctoral dissertation at the Hanoi University.
- [4]. Nguyen Duc Kham, Vu Van Tuyen, 1985: Termites and technique for their control. Agricultural Publishing House, Hanoi, 1985.
- [5]. Vu Van Tuyen, Hoang Khac Ba, Hoang Xuan Hong, 1993: Industry Standard 14-TCN-88-93 on: Components and quantities of investigation and treatment work on termites in dams made of earth or partly of earth.
- [6]. Tran Canh, A. Weller, 1995: The result report of researching project – Application of geophysical methods to study dike in Vietnam ( founded by Volkswagen Stiftung Germagy)
- [7]. Doan Van Tuyen, Tran Canh and Andreas Weller, 2000: Geophysical investigation of river dikes in Vietnam. European journal of environmental and engineering geophysics, No 4, 195-206.
- [8]. Nguyen Van Giang, 1999: Detection fractures and defects in the dyke by Ground Penetrating Radar. Proceeding of the NCST of Vietnam, vol.11 (2) pp.95-101
- [9]. Nguyen Van Giang, 2000: The detection of termite-holes in earthen dams and other geotechnical investigation in Vietnam by Ground Penetrating Radar method (GPR). Soil organism resources and sustainable development of soil ecosystem, pp.196-201. Agriculture Publishing House, Hanoi.



## SOME STATISTICS ABOUT TERMITE NESTS IN THAI BINH DIKE SYSTEM AND RESULTS OF GEOELECTRICAL MODELLING

Nguyen Trong Vu  
Institute of Geophysics, NCST of Vietnam

### TÓM TẮT

#### **MỘT VÀI CON SỐ THỐNG KÊ VỀ TỔ MỐI Ở HỆ THỐNG ĐÊ THÁI BÌNH VÀ KẾT QUẢ MÔ HÌNH ĐỊA ĐIỆN**

Thái Bình là tỉnh có hệ thống đê điều lớn nhất miền Bắc Việt Nam, việc bảo đảm an toàn của các tuyến đê sông trong quản lý đê điều nhằm bảo vệ cuộc sống và tài sản của nhân dân. Do đó việc ứng dụng các phương pháp kỹ thuật mới để phát hiện tổ mối và các khuyết tật thân đê là cấp thiết. Phương pháp địa điện đa cực đã được sử dụng tại Thái Bình để xác định vị trí tổ mối và các ẩn họa trong thân đê. Bài báo dưới đây giới thiệu một số kết quả thống kê về tần suất thường gặp nhất của các loài mối, kích thước và độ sâu tổ của chúng (theo số liệu của Chi cục quản lý đê Thái Bình).

Trên cơ sở thống kê này đã tính toán hiệu ứng địa điện của các mô hình tổ mối bằng phần mềm 2D. Kết quả chứng tỏ rằng phương pháp địa điện đa cực hoàn toàn có khả năng phát hiện được các tổ mối thường gặp nhất trong thân đê.

### ABSTRACT

Thai Binh is a province with a large system of dikes in the North of Vietnam. The safety of river dikes is very important. The dikes protect the property and life of people. It is necessary to find new technologies to detect termite nests and defects in the dikes. Multi-electrode geoelectrical surveys are used at dikes in the province Thai Binh to localise termite nests and defects in the dikes. In this paper, we present statistical results based on investigations of the dike management department in the province Thai Binh that indicate the appearance frequency of termite nests, its size and depth. With the help of these statistical data, geoelectrical modelling is performed to calculate the effect of termite nests using a 2D-program. The results demonstrate that typical nests can be found by geoelectrical multi-electrode surveys.

### INTRODUCTION

About 7000 km river dikes and sea dikes have been built in the northern provinces of Vietnam. Annually, Vietnamese government and people have spend a lot of money for maintenance and protection of the dike system against flooding. Nevertheless, breaks of the dikes still happen, which have serious consequences. The instability of dikes results from defects, termite nests, seepage effects, or distorted dike foundation. The origin of these effects is usually hidden in the dike's body or foundation. It is not directly visible. Methods of dike monitoring are necessary to assess the stability and the state of the dike.

A method is needed to localise termite nest in the dike body and to determine depth and size of the nest. The results will help to organise the repair of the affected dike sections in order to improve the stability.

Multi-electrode geoelectrical surveys are widely and effectively applied for environmental, engineering, and hydrogeological problems in many countries. The joint scientific project "Development of a geoelectrical technology to find termite nests in river dikes" between the Institute of Geological Sciences at the National Centre of Sciences Technologies and the Institute of Geophysics at Technical University Clausthal sponsored by the Volkswagen-Stiftung (2001-2003) has provided good conditions to apply this

technology in Vietnam. A geoelectrical multi-electrode system GMS-150 (GeoSys Leipzig, Germany) is used to find defects and termite nest in the dike body.

### TERMITE NESTS IN THAI BINH DIKE SYSTEM

The dike system in the province Thai Binh in North Vietnam has a total length of 584 km, including 211,3 km of river dikes and 151,7 km of sea dikes. Other dikes are located inside fields. No dike break did happen during the last flood and storm seasons. However, the dike sections Hong Ha I, Hong Ha II, right Tra Ly, and left Tra Ly are affected by about 4000 termite nests or mice nests. Seepage effects are observed at hundreds of locations. Many kilometres of stone jetty were destroyed by flooding.

In recent years, the Thai Binh dike system has been improved considerably, but 70 per cent of the total lengths belong to weak dike sections including 143 km of river dikes.

Table 1: Volume of hiding-disaster in Thai Binh dike system (1998-1999-2000 year)

N <sup>o</sup>	Dikes	Termite nests		Mice nests		Leaks
		N <sup>o</sup> of nests	Volume (m <sup>3</sup> )	N <sup>o</sup> of nests	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
1	Red rive I	427	3.709,90			
2	Red rive II	1950	6.654,97		12211	
3	Right Tra Ly	1658	7.810,90	27	110	
4	Left Tra Ly	1670	6.948,10	2	60	100
5	Left Luoc	1850	10.021,00	375	263,2	
6	Left Hoa	960	2.623,20	34	17	
7	Dike N <sup>o</sup> 5	216	1.002,31			
8	Dike N <sup>o</sup> 6	299	1.386,31			
9	Dike N <sup>o</sup> 7	302	713,80	16	9	158
10	Dike N <sup>o</sup> 8	518	855,86			540
	<b>Sum</b>	<b>9895</b>	<b>41.726,34</b>	<b>484</b>	<b>459,20</b>	<b>1.098</b>

According to the statistical data in Tab. 1 provided by Thai Binh Dike Management, the dike system in this province is still severely affected by termite nests, mice nests, and seepage effects.

In recent years, the Thai Binh dike system

has been improved considerably, but 70 per cent of the total lengths belong to weak dike sections including 143 km of river dikes.

Table 2: Appearance frequency of termite nest size following the statistics

Interval	Appearance Frequency of L (Length)	Appearance Frequency of B (Width)	Appearance Frequency of H (Depth)
0.0-0.5	0	2	28
0.5-1.0	2	26	156
1.0-1.5	4	344	268
1.5-2.0	171	68	6
2.0-2.5	160	14	0
2.5-3.0	74	4	0
3.0-3.5	31	0	0
3.5-4.0	12	0	0

Note: L: Length of termite nest

B: Width of termite nest

H: Depth to top of termite nest



According to the statistical data in Tab. 1 provided by Thai Binh Dike Management, the dike system in this province is still severely affected by termite nests, mice nests, and seepage effects.

Statistical data show that the termite nests vary in size, form and depth. From the data, we calculated the appearance frequency of termite nest size. The results are presented in Tab. 2 and in Fig. 1. Concluding from the statistical data, a typical termite nest in Thai Binh dikes is characterised by a length of 1.5 to 2 m, a width and depth to the top of the nest of 1 to 1.5 m.

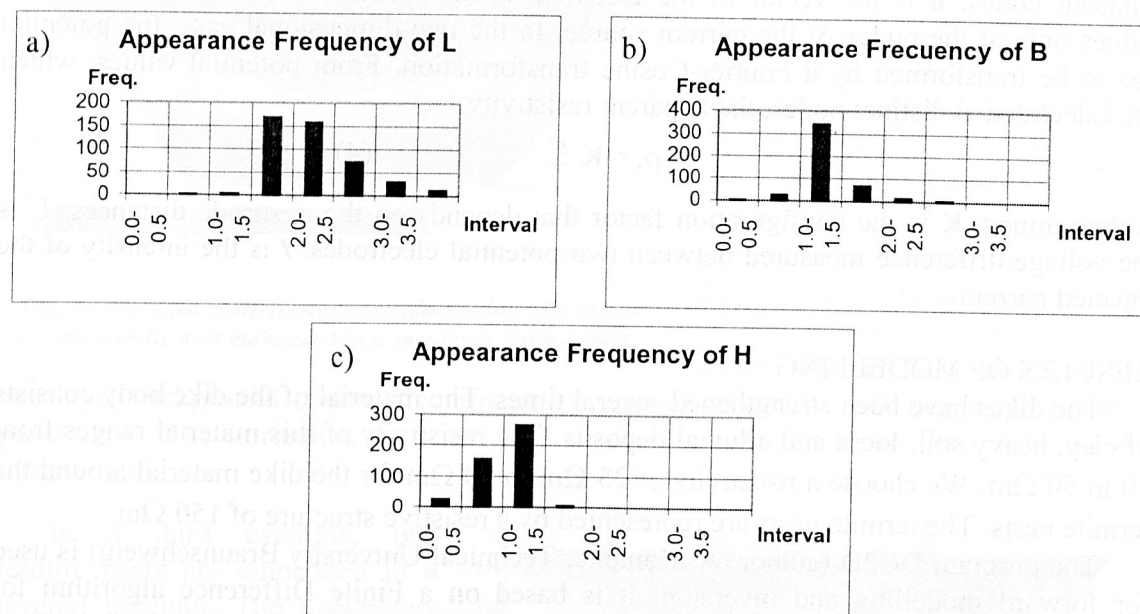


Fig. 1: Appearance frequency of termite nest size. a) Appearance frequency of length; b) Appearance frequency of width; c) Appearance frequency of the depth to the top of the nest

Up to now, termite nests and other defects of dikes have been investigated by a variety of methods. Electrical imaging has been applied. This method has proved to be suitable to localise termite nests and other defects in the dike body.

A special study is made to investigate the effect of a termite nest on a resistivity survey by forward modelling. The typical size and depth of a termite nest is selected to get reliable modelling results.

## GEOELECTRICAL MODELLING ALGORITHM

The principles of electrical tomography have been presented in many publications. In this paper, we provide a short introduction to the Finite Difference method (FD) which is widely used in programs for modelling and inversion of geoelectrical data. The forward problem is formulated by the following differential equation:

$$\text{Div}(\sigma \cdot \text{grad } U) = -I\delta_q \quad (1)$$

for the electrical potential  $U$  and the conductivity distribution  $\sigma$ . The term at the right hand side represents the current source. The following boundary conditions are formulated at the surface and at the other sides of the model:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial z} \right|_{z=0} = 0 \quad \text{and} \quad \frac{\partial U}{\partial n} + \frac{U \cdot \cos \theta}{r} = 0. \quad (2)$$

$r$  is the distance to the current source and  $\theta$  the angle between the outward normal  $n$  and  $r$ . Eq. (1) is solved by numerical methods. The FD method uses a discretisation of the model in a network of rectangular elements. A difference equation is formulated for each node. Finally, a system of linear equations has to be solved:

$$\underline{C} \underline{u} = \underline{b}. \quad (3)$$

$\underline{C}$  is the so-called conductance matrix that contains all the coupling coefficients between adjacent nodes;  $\underline{u}$  is the vector of the electrical in all nodes. Vector  $\underline{b}$  shows non-zero values only at the nodes of the current source. In the two-dimensional case, the potential has to be transformed by a Fourier-Cosine transformation. From potential values, which are calculated at distinct nodes, the apparent resistivity

$$\rho_k = K \frac{U}{I} \quad (4)$$

is determined.  $K$  is the configuration factor that depends on the electrode distances.  $U$  is the voltage difference measured between two potential electrodes.  $I$  is the intensity of the injected current.

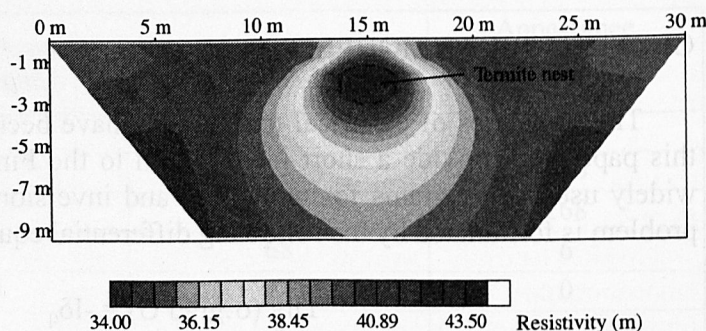
## RESULTS OF MODELLING

The dikes have been strengthened several times. The material of the dike body consists of clay, heavy soil, loess and alluvial deposits. The resistivity of this material ranges from 10 to 50  $\Omega\text{m}$ . We choose a resistivity of 25  $\Omega\text{m}$  to 50  $\Omega\text{m}$  for the dike material around the termite nests. The termite nests are represented by a resistive structure of 150  $\Omega\text{m}$ .

The program DC2D (author: A. Kampke, Technical University Braunschweig) is used for forward modelling and inversion. It is based on a Finite Difference algorithm for modelling and on a simultaneous iterative reconstruction technique (SIRT) for inversion. For modelling, a variety of configurations was used: three electrode, dipole-dipole, Wenner, and Schlumberger. In this paper, we only present the results of the three electrode configuration with different structures. The so-called Half-Wenner configuration with forward mode (AMN) and backward mode (NMA) yields an average apparent resistivity that may be regarded as a result of synthetic focussing.

A profile section of 30 m length is regarded with the termite nest buried at the centre in 1.5 m depth. The cross-section area of the nest was chosen to be 2 m x 1.5 m. The electrode distance and the step of measurements are 1 m.

First, a simple model was calculated with a single termite nest embedded in the homogeneous half-space with a resistivity of 35  $\Omega\text{m}$ . Fig. 2 shows the geoelectrical pseudo-section for the averaged Half-Wenner configuration caused by the termite nest. Though the termite nest can be recognised by a resistive anomaly that is located at the right place the resistivity maximum does not reach the

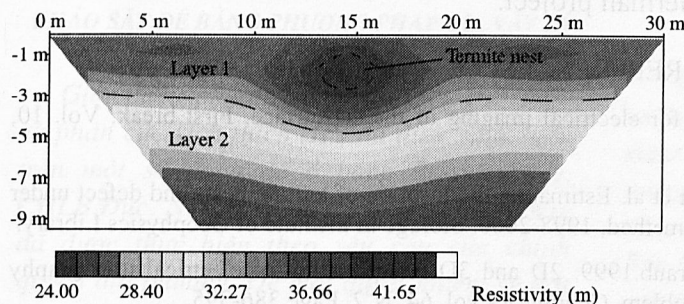


**Fig. 2. Averaged Half-Wenner pseudo-section of a model of one termite nest embedded in a homogeneous half-space**



intrinsic value of  $150 \Omega\text{m}$ .

In greater distance from the termite nest, the resistivity of the dike material is approximated. It should be considered that a pseudo-section can give only a distorted image of the true resistivity structure in the subsurface. Though the averaged Half-Wenner configuration provides a less distorted image compared to other configurations the size and the depth of the anomaly are not exactly resolved. An inversion procedure may improve the image.

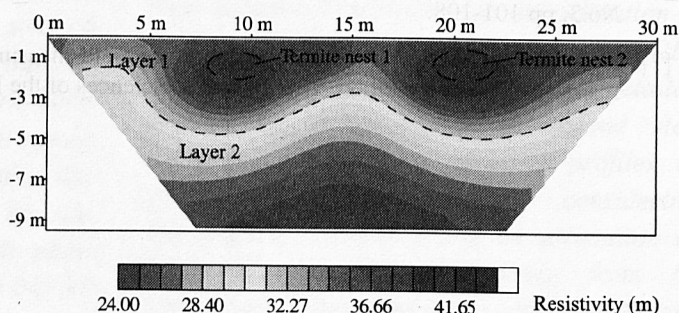


**Fig. 3: Averaged Half-Wenner pseudo-section of a model of one termite nest embedded in a two-layer environment**

two-layer background causes a continuous increase of resistivity with increasing depth of penetration. The horizontal interface at 3 m depth apparently bends down below the termite nest.

In a third example, two termite nests are embedded in a layered medium. The parameters of the two layers are kept as in the second example. The termite nests were positioned at 10 m and 20 m on the profile. We selected the same parameters of the termite nests as in the preceding examples: size: 2 m x 1.5 m, depth 1.5 m, and resistivity  $150 \Omega\text{m}$ .

Fig. 4 shows the pseudo-section for the averaged Half-Wenner configuration. Two distinct resistive anomalies can be observed reflecting the right position of the two termite nests.



**Fig. 4: Averaged Half-Wenner pseudo-section of a model of two termite nests embedded in a two-layer environment**

## CONCLUSIONS

Statistical data were used to determine the typical size of termite nests in the Thai Binh dike system. These data were considered to design the resistivity distribution for geoelectrical modelling. A two-dimensional program is applied to calculate the response of different models. The resistivity effect is displayed as pseudo-section of the averaged Half-Wenner configuration.

The averaged Half-Wenner configuration yields images that clearly indicate the position and approximate depth of the termite nests. The exact shape, depth, and resistivity contrast cannot be resolved properly. The assumption of 2D structures (infinite extension in the direction perpendicular to the profile) overestimates the resistivity anomaly. Topographic effects of the dike are not considered.

The multi-electrodes technology is able to find typical termite nests in river dikes. Deeply buried nests require a more sophisticated focussing method. Further investigation is needed to consider dike topography.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The statistical data were provided by the Thai Binh Dikes Management Department that supported our investigation. I thank the Volkswagen-Stiftung that enabled my participation in the joint Vietnamese German project.

#### REFERENCES

- [1]. Barker R., 1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. First break, Vol. 10, No.2, pp 53-62.
- [2]. Nguyen Van Giang, Nguyen Trong Vu et al. Estimating the location of termite nests and defect under dike in North of Vietnam by Georadar method, 1998-2000. Storage in Institute of Geophysics Library.
- [3]. Lesur V., Michel Cuer and Andre Straub.1999. 2D and 3D interpretation of electrical tomography measurements, Part 1: The Forward Problem. Geophysics vol. 64, N°2. Page 386-395.
- [4]. Odenburg D. W. and Yaoguo Li.1999. Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys. Geophysics vol. 64, N°2, page 403-416.
- [5]. Doan Van Tuyen, Tran Canh and Andreas Weller, 1999 - 2000. Geophysical investigation of river dikes in Vietnam. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 4. 195- 206.
- [6]. Doan Van Tuyen, Tran Canh, Andreas Weller, 2000. The application pf electrical tomography for solving hydro-engineering geological problems in Vietnam. Advances in Natural Sciences, vol. 1, No.3, pp 101-108.
- [7]. Nguyen Nhu Trung, 1999. The procedure of field measurement and interpretation in two dimension resistivity imaging method. The Journal in Sciences of the Earth. 12-1999, vol. 21, N° 4, page 254-262.



## GEOPHYSICAL PROSPECTION OF DIKES

**Burkart Ullrich and Cornelius Meyer**

Eastern Atlas – Geophysical Prospection, Berlin, Germany

Email: info@eastern-atlas.de

### TÓM TẮT

### ABSTRACT

#### KHẢO SÁT ĐÊ BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ

Giới thiệu phương pháp đo điện trở (DC) và phân cực kích thích (IP) đã được thực hiện trên một số đoạn đê ở bang Brandenburg, CHLB Đức. Nhiệm vụ điều tra nghiên cứu này đã được thực hiện theo yêu cầu của chính quyền địa phương. Để giải quyết nhiệm vụ đặt ra, một công nghệ chuẩn đã được triển khai như sau. Bước đầu, tiến hành điều tra khảo sát sơ bộ trên 3 tuyến dọc thân đê được bố trí trên đỉnh đê và hai mép đê. Sự phân bố điện trở suất theo diện của các mặt cắt đê được giải thích và phân tích có chú ý đến các kết quả khoan (36,5 km ở sông Oder, 19,5 km ở sông Elbe). Từ các mặt cắt 2 chiều trên các tuyến đo song song có thể xác định hay lựa chọn vị trí cần thiết để khảo sát chi tiết. Bước thứ hai tiến hành khảo sát địa điện 2 chiều theo các tuyến cắt ngang thân đê có đưa vào hiệu chỉnh ảnh hưởng địa hình đê và xác định số độ dẫn thủy lực (độ thấm của các lớp đất) bằng kết quả đo phân cực kích thích (IP). Báo cáo này trình bày kỹ thuật và các ví dụ về kết quả áp dụng thực tế.

DC and IP geoelectrical measurements were performed on several dikes in the federal state of Brandenburg in Germany. The investigations were carried out according to the request made by the regional government. For the pre-reconnaissance and for a detailed survey of dike bodies a standard of application was developed. At first, a large-scale prospecting was performed consisting of 3 profiles arranged on the top of the dike as well as on the two sides. The complete 2-dimensional resistivity distribution of the dike sections (36.5 km at the river Oder, 15.9 km at river Elbe) was interpreted in consideration of drilling results. From these parallel 2D-sections it can be concluded where a detailed prospecting is necessary. A second step includes 2-dimensional crossing profiles of geoelectrical measurements considering topographic correction and an estimation of hydraulic conductivity resulting from IP soundings. These techniques and results are explained in the examples below.

### INTRODUCTION

Within the last few years several extreme high water events have occurred in Germany. A long persistent flood of the river Oder, which has gone off over the until that time known maximum pointers, has led to widespread damage of the dikes in summer 1997. High water conditions of the river Elbe and its tributaries in 2002 caused major damage in densely populated areas. In both cases, several dikes burst. It became obvious that the dikes were no longer stable and secure against extreme high water events. The dikes must be reconstructed in the middle and long-term period.

During the investigation special attention is paid to a detailed geotechnical reconnaissance. A complete investigation of usually non-homogenous dikes, possible only by geophysical prospecting, has proceeded according to the dimensions of the high water protection barriers, about 1.300 km in Brandenburg. Geophysical methods are used to provide a quick, non-destructive and relatively inexpensive characterisation. The use of

geoelectrical methods is especially rewarding because these methods are very effective and yield a good deal of valuable information.

## AIMS AND METHODOLOGY

The application of geoelectrics is suitable for the examination of the dike and the natural underground on existing and planned water protection barriers in following terms:

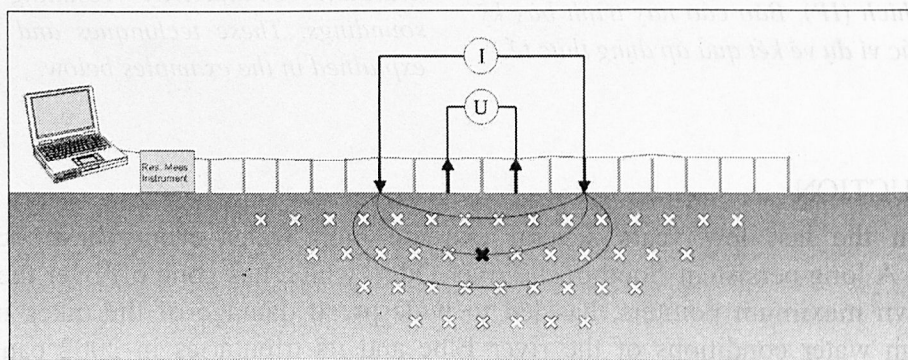
- Depth and thickness of geological structures,
- Description of different types of natural soil,
- Classification of materials used in the dikes body and the degree of compression,
- Location of inhomogeneities, leakage and weak zones,
- Estimation of hydraulic conductivity.

This information results from of an interpreted 2D or 3D-resistivity distribution provided by DC geoelectrical measurements. The estimation of hydraulic conductivity requires IP measurements and additional petrophysical information.

## MEASUREMENTS AND EVALUATION

Geoelectrical methods describe geological structures and soil material by their electrical conductivity, which varies in a scale from 0.1 and 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in areas of natural soils and rocks. The conductivity is recorded by integral measurements taken from the surface. This is done with two current electrodes injecting an electric current ( $I$ ) into the ground. The observed difference of the electrical potential ( $U$ ) is measured between two potential electrodes. The apparent resistivity or the reciprocal value, the electrical conductivity, is determined according to Ohm's law.

In every day use, Electrical Imaging Systems come into operation, requiring a lot of electrodes in any possible arrangement, four of which are used for a single measurement. The reading is projected as a result from the central point of the active electrode arrangement as the section axis, and the distance between the electrodes forming the depth axis. Mapping in direction of the profile and sounding by increasing electrode spacing will establish a pseudo-section as shown in figure 1.



**Figure 1: Scheme of 2D imaging using a multi-electrode system.**

Depth of investigation and resolution are determined by the specific electrode arrangements. For longitudinal and crossing sections we used the Wenner configuration with an electrode distance of 5 m and 1-2 m, respectively. The investigated depth was normally between 10 - 15 m, with a maximum of up to about 20 m below surface.

From the total sum of single measurements an inversion is calculated to reconstruct the distribution of conductivity in the ground. Depending on the measuring arrangements as



sounding, profiling or electrical resistivity tomography this is done by 1D, 2D or 3D inversion programmes using a MARQUARDT or SIRT algorithms (Kampke, 1997; Danckwardt, 1995).

Interpretation of the calculated resistivity requires additional information. We compared measurements directly on boreholes and the drilling results for calibration. The results depicting selective recognisable strata of the soil are then classified into soil types. To be able to pursue a lithological interpretation for greater areas it is necessary to apply the soil classification on to the parameter distribution. The geology of Brandenburg generally consists of glacially deposited materials.

#### EXAMPLE 1: LARGE SCALE PROSPECTION ON RIVER ODER

The aim in the Uckermark district was to investigate the bodies of the dikes as well as the underground sediments of an embankment section 36,5 km in length along the river Oder. The geophysical investigation produced a longitudinal cross section along the dike's top axis with a depth of up to 16 m below surface and additionally up to 11 m on the waterside and landside of the dike. The survey took 4 weeks for an area with the total length of 112 km cable layout and 5 m spacing at each point of measurement.

We applied a Wenner configuration with a maximum distance of 75 meters between the current electrodes (5 pseudodepths) on the top and 60 meters (4 pseudodepths) on the basis using a Campus Tigre Imager System with 2 x 32 electrodes. We used a SIRT routine for the 2D-inversion of data. A grid size of 5 m x 1.5 m was sufficient with regard to the dimensions of the sedimentary structures.

A generalisation of the quaternary soil types is based on 150 boreholes, which permits the differentiation of four classes according to their conductivity:

Class	Conductivity in $\mu\text{S/cm}$	Generalised soil types
1	up to 50	saturated coarse grained sands and gravel, partly saturated sands, dry silt; fillings of stones, rubble and gravel
2	50 up to 300	fine and middle grained sands; partly saturated silt; dry clay
3	300 up to 500	fine sands and silt; boulder clay; partly saturated organic soils
4	higher than 500	saturated organic soils, peat, sludge; saturated clay and marl

The vertical sections in figure 2 show the conductivity distribution between kilometres 19 and 20. At these inconsistent sections the occurrence and the expansion of organic soil came into question as they highly endanger the dike's stability. These primarily saturated sediments (peat, sludge, rotten sludge) can easily be differentiated by a high conductivity of over 500  $\mu\text{S/cm}$ . The organic sediments of an old no longer existing Oder tributary underlie the recent dike between kilometre 19.5 and 19.6. Sediments like stones and gravel were used to build or repair the dikes body at kilometre 19.46. At that area of high resistivity or low conductivity respectively the organic sediments have been removed during dike construction.

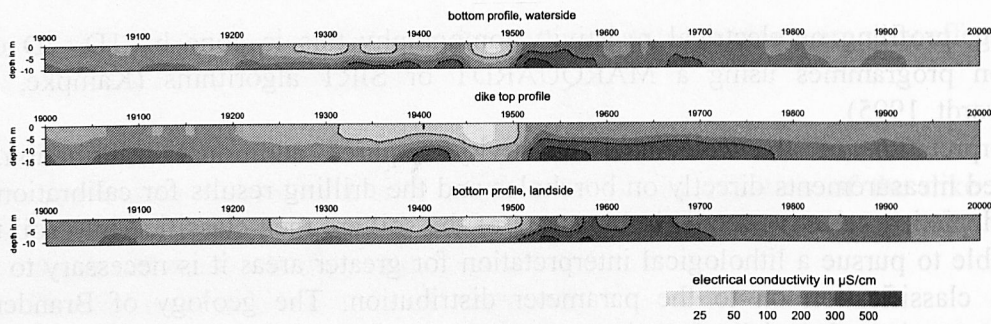


Figure 2: Vertical sections from 2D profiling on the top and bottom of a dike.

## EXAMPLE 2: DETAILED SURVEYS OF DIKES ON RIVER „ELBE“

A preliminary geophysical survey of a 15.9 km section of the Elbe embankment resulted in a reconstruction of the conductivity distribution, making it possible to prepare a detailed investigation. Objectives for the detailed survey are as follows: the exploration of geological proportions looking at the dike's cross-section; the determination of geotechnical significant values by IP-sounding; creating an image of complex 3D-structures by means of electrical resistivity tomography and prospection of geological structures in great depth.

### Crossing profiles

To explore the stratification of the dike's cross-section it is necessary to take the topography into account. This is possible when reconstructing the parameter distribution underneath the curved surface. This makes it possible to correct the effect of topography on the potential measurement.

The example in figure 3 shows the typical fan-shaped anomaly in the measured pseudo-section (above), caused by the surface topography that does not correspond to any underground structures. The measured values and projections are corrected (bottom) with the method of conformed mapping (Wanger et al., 2000).

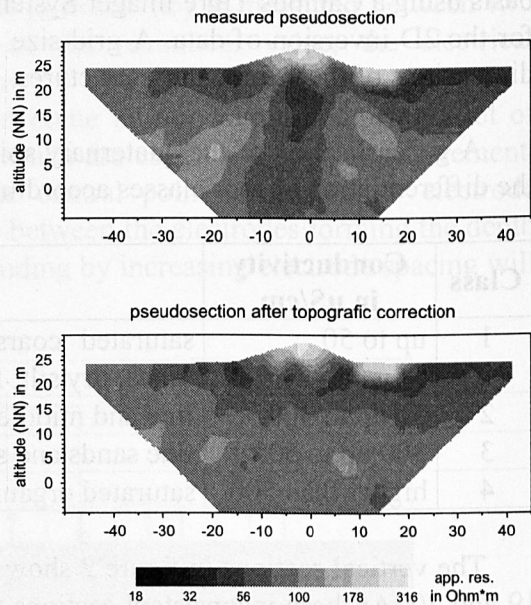
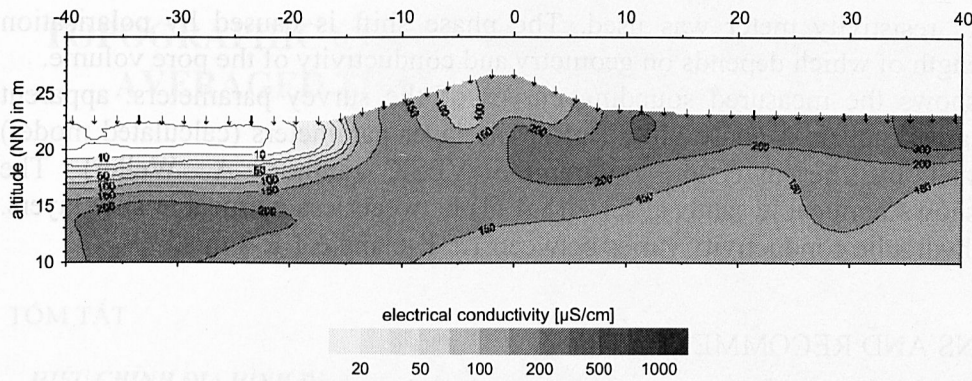


Figure 3: Topographic effect of cross sections (right).

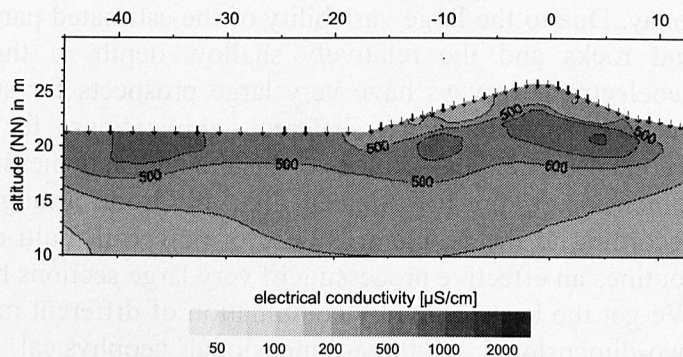
Two examples of crossing profiles show areas, in which the primary investigation along longitudinal intersections demonstrates the dike's very heterogeneous underground structure. Figure 4 clarifies how far permeable fine sands, classified by a conductivity of more than 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , project into the dike's body. The cross section shows only a slight connection between the saturated sediments in greater depth on the left side and the overburden permeable sands on the right side of the dike.



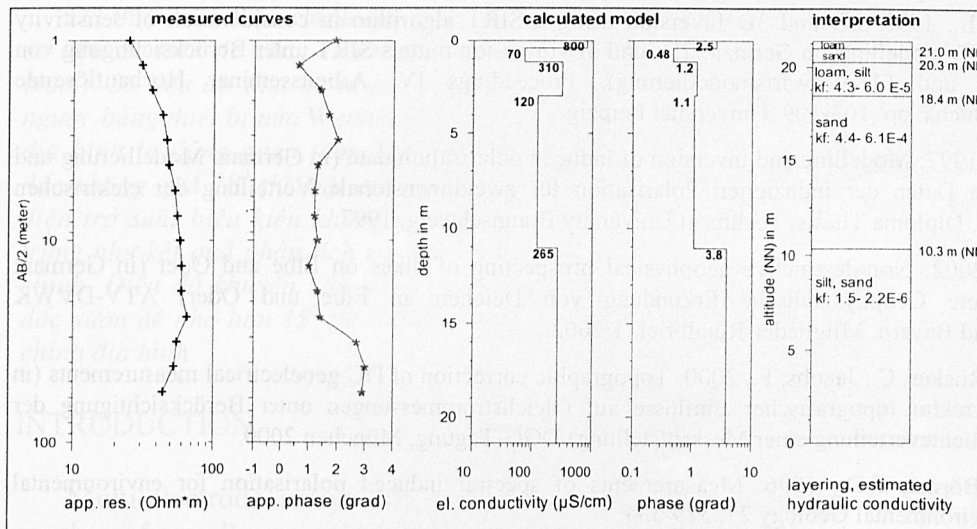


**Figure 4:**  
Image from  
the crossing  
profile with  
constant  
electrode  
distances.

The cross section in figure 5 results from a Wenner measurement. An arrangement with different electrode distances of 1 meter around the dike body and 2 meters at the basis was required. The calculated conductivity distribution shows a continuous layer of organic sediments with a thickness of about 2-3 meters, recognised by high conductivity of more than 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The positions of the electrodes are marked on the surface.



**Figure 5:** Image from crossing profile with different  
electrode distances.



**Figure 6:**  
Results of an  
IP-sounding  
in  
Schlumberger  
configuration.

### Estimation of hydraulic conductivity by IP-Sounding

The estimation of hydraulic conductivity of loose sediments is based on the determination of porosity and the specific internal surface using measurements of the complex electrical resistivity (Weller and Börner, 1996). Induced Polarisation measurements record the conductivity and the phase shift between current and voltage. A

“4-Punkt-Light” resistivity meter was used. The phase shift is caused by polarisation effects, the strength of which depends on geometry and conductivity of the pore volume.

Figure 6 shows the measured sounding curves of the survey parameters: apparent resistivity  $\rho_a$  and apparent phase  $\phi_a$  (left). The layer parameters (calculated model) were determined by the inversion programme VESK (author: A. Weller). The interpretation shows permeable sands (10.3 - 18.4 m) between less permeable silty layers. The estimated hydraulic conductivity varies between  $1.5 \text{ E-6}$  and  $6.1 \text{ E-4 m/s}$ .

## CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Geoelectrical measurements are part of the standard in monitoring of dikes in Germany today. Due to the large variability of the estimated parameter conductivity for natural soils and rocks and the relatively shallow depth of the dike structures to be examined geoelectrical surveys have very large prospects for success. The variety of geoelectrical methods permits very different applications for pre-reconnaissance and detailed reconnaissance. The choice of the method and measuring parameters (DC/IP, scale and dimension of the investigated dike, electrode arrangements and configuration) is made according to the problem. By use of powerful multi-electrode systems and fast inversion routines an effective processing of very large sections has become possible.

We get the best results by combination of different methods. A good correlation between two-dimensional or three-dimensional geophysical data and selective geological and geotechnical information from drilling and logging results is the basis for an interpretation. According to our experience, the quality of the result depends as well on the quantity and quality of the additional information and the co-operation with the involved geo-engineers.

## REFERENCES

- [1]. Danckwardt, E., 1995: 2D and 3D Inversion using a SIRT algorithm in consideration of sensitivity analysis and FD modelling (in German: 2D- und 3D-Inversion mittels SIRT unter Berücksichtigung von Sensitivitäten und FD-Vorwärtsmodellierung): Proceedings IV. Arbeitsseminar Hocharauflösende Geoelektrik Bucha, pp. 103-109. Universität Leipzig.
- [2]. Kampke, A., 1997: Modelling and inversion of induced polarisation data (in German: Modellierung und Inversion von Daten der induzierten Polarisation für zweidimensionale Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit), Diploma Thesis, Technical University Braunschweig, 1997.
- [3]. Ullrich, B., 2002: Non-destructive geophysical prospecting of dikes on Elbe and Oder (in German: Zerstörungsfreie Geophysikalische Erkundung von Deichen an Elbe und Oder) ATV-DVWK Landesverband Bayern, Mitglieder-Rundbrief 1/2002.
- [4]. Wanger, T., Rücker, C., Jacobs, F., 2000: Topographic correction of DC geoelectrical measurements (in German: Korrektur topografischer Einflüsse auf Gleichstrommessungen unter Berücksichtigung der Informationsdichteverteilung einer Messaufstellung) DGG-Tagung, München 2000.
- [5]. Weller, A., Börner, F.D., 1996: Measurements of spectral induced polarisation for environmental purposes: Environmental Geology 27, 329-334.



## TOPOGRAPHIC CORRECTION FOR DIKE GEOMETRY USING AVERAGED THREE-ELECTRODE CONFIGURATIONS

Andreas Weller\*, Thomas Hennig\*, Tran Canh\*\*

\*) Institute of Geophysics, Technical University Clausthal, Germany,  
Email: andreas.weller@tu-clausthal.de

\*\*) Institute of Geological Sciences, Hanoi, Vietnam

### TÓM TẮT

#### HIỆU CHỈNH ĐỊA HÌNH ĐÊ KHI SỬ DỤNG THIẾT BỊ ĐO SÂU ĐIỆN BA CỰC

Hệ thiết bị đo 3 cực là một công cụ phù hợp cho qui trình đo cắt lớp điện trở bằng máy đo đa cực. Giá trị trung bình từ hai phép đo xuôi (tiến) và đo ngược (lùi) của thiết bị nửa Wenner tạo thành hiệu ứng tiêu cực cho phép nhận được ảnh mặt cắt lớp gần như kết quả của phân tích ngược (bài toán ngược).

Hiệu ứng địa hình đê là vấn đề cần quan tâm trong công tác đo cắt lớp điện trở. Nếu tuyến đo vuông góc với thân đê thì việc hiệu chỉnh địa hình trở nên cần thiết. Hiệu chỉnh địa hình được xác định bởi mô hình hóa bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Để hiệu chỉnh địa hình, trong quá trình mô hình hóa đã giả thiết rằng tính chất môi trường đê là đồng nhất.

Đã thực hiện hiệu chỉnh địa hình cho một loạt số liệu đo trên đê sông của tỉnh Thái Bình (Việt Nam). Số liệu đo thực tế từ hai phép đo xuôi và ngược bằng thiết bị nửa Wenner cho thấy hiệu ứng địa hình là đáng quan tâm. Trên sườn đê có độ dốc không quá  $18^\circ$  thì mặt cắt giá trị trung bình điện trở suất biểu kiến không hiệu chỉnh có đặc trưng như kết quả phân tích tài liệu đã được hiệu chỉnh. Điều đó khuyến cáo rằng, chỉ khi nào độ dốc sườn đê nhỏ hơn  $15^\circ$  thì không cần thiết hiệu chỉnh địa hình.

### ABSTRACT

The three-electrode configuration has proved to be a suitable tool in multi-electrode resistivity imaging. The averaging of a forward and a backward Half-Wenner configuration results in a focussing effect that produces images which can be compared with the result of inversion.

The dike topography affects the results of resistivity imaging. If the profile runs perpendicular to the dike axis a topographic correction of the data becomes necessary. The topography effect is determined by finite element modelling. The results of modelling of a homogeneous dike body are used to determine a topographic correction.

A data set from a river dike in the province Thai Binh (Vietnam) was used to test the topographic correction. The averaging of forward and backward Half-Wenner configuration reduces the topography effect remarkably. Since the slopes of the dike flanks do not exceed  $18^\circ$  the non-corrected averaged pseudo-section reflects the same features as the inverted image resulting from corrected data. It is recommended to ignore a topography correction only if the slopes of the flanks are smaller than  $15^\circ$ .

### INTRODUCTION

Multi-electrode arrays are widely used in dike monitoring. Cables connect a large number of equally spaced electrodes with a control unit that selects the active electrodes according to a predefined measurement sequence. A variety of different electrode configurations can be applied for profiling. Wenner- $\alpha$  and dipole-dipole arrays are commonly used. The Wenner- $\alpha$  configuration is suitable to resolve resistivity changes with depth. Gradient arrays like dipole-dipole configuration provide a better lateral resolution but they are severely affected by noise if the spacing increases.

Earlier investigations have shown that a three electrode configuration which is also called Half-Wenner configuration provides some advantages for resistivity profiling with multi-electrode systems (Peschel, 1967):

- (a) The number of measurements with a fixed number of electrodes is larger than for Wenner- $\alpha$  and dipole-dipole configuration.
- (b) For the infinite electrode B a good location for current injection (low transfer resistance) can be found outside the profile.
- (c) Two half Wenner readings can be combined to a Wenner- $\alpha$  reading.
- (d) The simple combination of a three electrode forward configuration (A - na - M - na - N, a is the fixed electrode distance, n an integer factor) and a three electrode backward configuration (N - na - M - na - A) with a fixed position of electrode M has proved to act as a focussing tool (Kampke et al., 1998). The average of both readings results in a pseudo-section that shows the main features of the subsurface resistivity distribution.

It will be shown in this paper that the combination of two three electrode readings is also less sensitive to a rough topography.

Resistivity profiling is normally applied along the dike axis. Profiles are measured either at the top of the dike, at the flanks or even at the foot of the dike to explore the basement. If some anomalies are found it is difficult to predict the exact location of the anomalous structure. A two-dimensional interpretation assumes that the anomalies are caused by structures directly under the profile. But it is known, that also structures of both sides of the profile affect the measurements. In order to find out the exact location of the origin of the anomalous apparent resistivity it is advisable to measure a perpendicular profile providing a cross-section of the dike body. A profile crossing the dike axis is severely affected by the dike topography.

Different authors have investigated the influence of topography on resistivity readings (Fox et al., 1980, Tsourlos et al., 1999). Fox et al. (1980) have shown that a dipole-dipole survey crossing a mountain of homogeneous resistivity causes a maximum under the summit of the mountain and two minima at the foot of the mountain. The maximum exceeds the intrinsic resistivity by a factor of 2.6. The minimum reaches 50 per cent of the true resistivity. Tsourlos et al. (1999) use a topography that is similar to a river dike. The resulting resistivity pseudo-section for a dipole-dipole array shows a strong resistivity maximum under the dike body and adjacent minima near the foot of the dike. The values of maximum and minima are comparable to the model of Fox et al. (1980) that uses the same slopes of  $30^\circ$  for both flanks.

Using the data of a resistivity profile crossing a dike in the province Thai Binh (Vietnam) the effect of topography at the primary data and the inversion result is demonstrated.

## MEASURED DATA

A dike section at the right side of Tra Ly River in Hiep Hoa (province Thai Binh) was investigated in December 2002. The profile C1 crosses the river dike at km 6.479. The slopes of the flanks reach  $18^\circ$  at the river side and  $14^\circ$  at the land side. 50 equally spaced electrodes are located along the 24.5 m long profile. The Half-Wenner data in forward and backward mode were acquired up to level  $n = 7$  resulting in 980 apparent resistivity values. The pseudo-sections are shown in Fig. 1. Half the distance between two active electrodes is selected as pseudo-depth. The forward (Fig. 1a) and backward mode (Fig. 1b) images look



noisy. The average of both modes results in the focussed image of Fig. 1c. Two distinct resistivity near surface maxima are found at  $y = 9.5$  m and at  $y = 14.5$  m.

Knowing the  $z$ -coordinates of the electrodes, the data points are shifted vertically. The modified pseudo-section is shown in Fig. 2. A resistive structure is seen under the top of the dike. A near surface conductive anomaly is shown at the flank at the river side. Since the topography is only considered graphically there is no evidence if the anomalies are caused by topographic effects or by changes in the intrinsic resistivity.

## TOPOGRAPHIC CORRECTION

The topographic effects are calculated by a finite element (FE) program (Hennig, 2003). The upper surface line is given by the positions of electrodes. Between two electrodes an additional node is considered to improve the accuracy of the modelling. The Neumann-type boundary condition at the surface is automatically fulfilled by the FE algorithm.

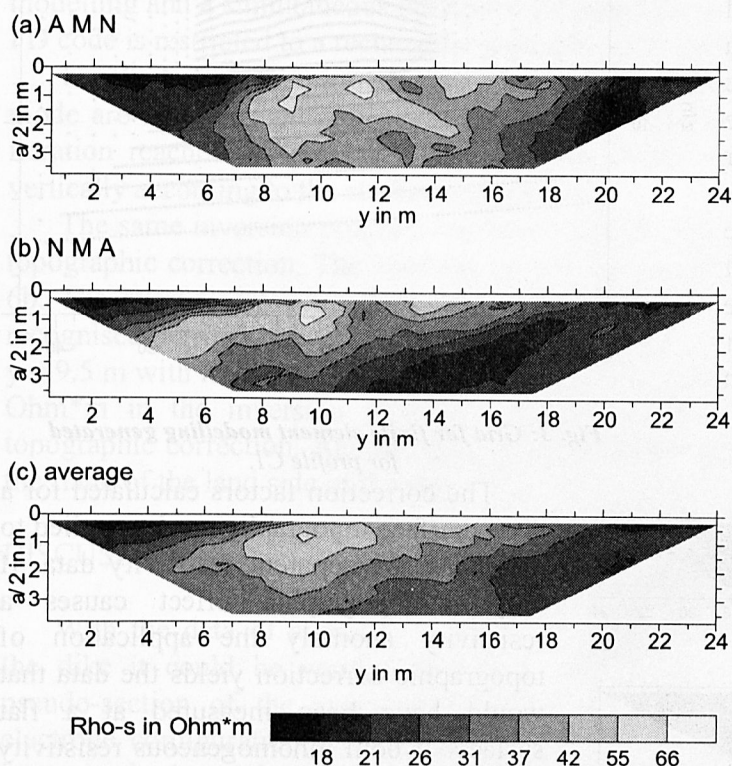


Fig. 1: Pseudo-sections of profile C1. (a) Half-Wenner forward. (b) Half-Wenner backward. (c) Averaged pseudo-section

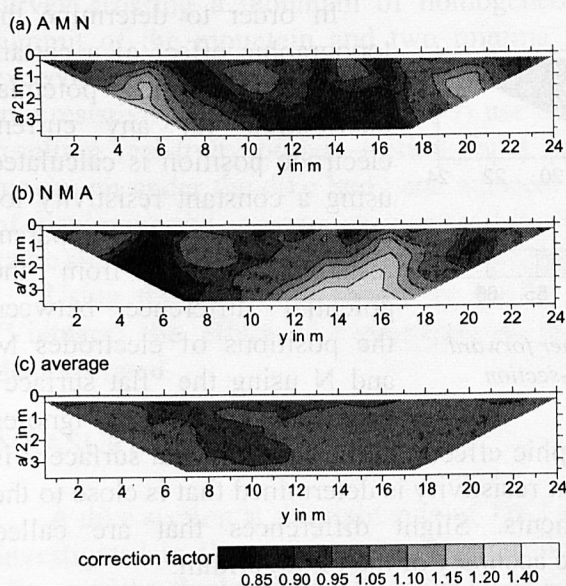
the changes in electrode distances by topographic effects. In the case of a flat surface it is expected that for all configurations an apparent resistivity is determined that is close to the constant resistivity attributed to all elements. Slight differences that are called discretisation errors are caused due to the finite accuracy of the FE algorithm.

In the presence of an undulating surface the potential field is changed and consequently the resulting apparent resistivity may differ from the intrinsic value. The FE program is used with the grid shown in Fig. 3 to calculate the apparent resistivity for all forward and backward Half-Wenner configurations that were measured at profile C1. A resistivity of 100 Ohm\*m is attributed to all elements. In order to correct the resulting

The generated grid that consists of 2361 nodes and 2238 elements is shown in Fig. 3. The highest density of nodes is found in the inner area around the electrodes. The area is extended to the left, to the right and to the bottom to satisfy asymptotic boundary conditions. The node distances increase continuously outside the inner area.

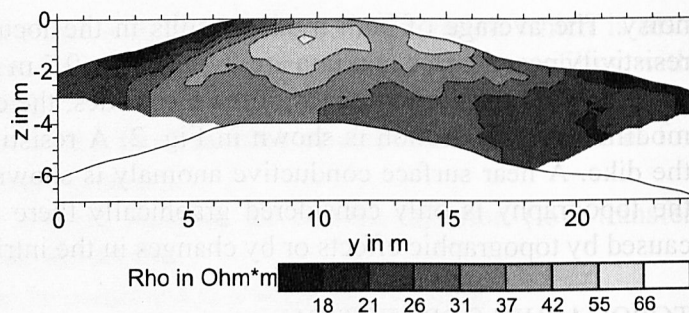
In order to determine the topographic effect of a certain configuration the potential distribution for any current electrode position is calculated using a constant resistivity for all elements. The apparent resistivity results from the potential difference between the positions of electrodes M and N using the "flat surface" geometric factor that ignores

pseudo-sections for the topographic effect correction factors are determined by dividing the constant resistivity value that is attributed to all elements by the calculated apparent resistivity. The resulting correction factors for forward, backward and average mode are presented in Fig. 4. The forward mode correction factors vary between 0.811 and 1.248 and the backward mode factors between 0.798 and 1.264. Having a closer look at both diagrams it becomes obvious that the minima of the forward mode coincide with the maxima of the backward mode and vice versa. Consequently, the average of both images results in a smaller variation of correction factor (between 0.879 and 1.038). The main feature in Fig. 4c is a slight minimum (0.90 ... 0.95) under the top of the dike. For most other configurations the correction becomes less than 5 per cent.

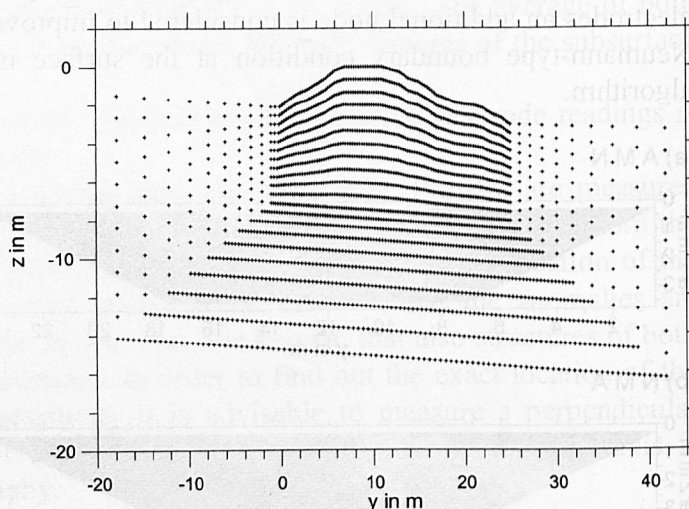


**Fig. 4: Sections of correction factors for profile C1. (a) Half-Wenner forward configuration. (b) Half-Wenner backward configuration. (c) Averaged correction factors.**

the value of the resistivity maximum decreases slightly from 57.7 to 55.2 Ohm\*m.



**Fig. 2: Averaged pseudo-sections of profile C1 shifted according to true z-coordinates of electrodes.**

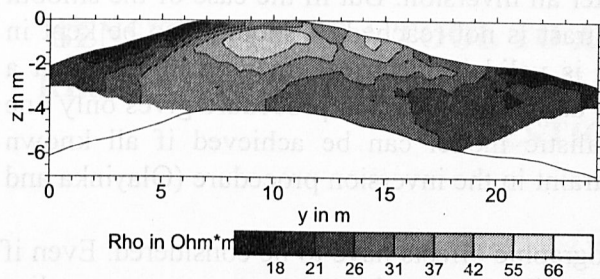


**Fig. 3: Grid for finite element modelling generated for profile C1.**

The correction factors calculated for a given surface topography can be applied to the measured apparent resistivity data. If only a topographic effect causes a resistivity anomaly the application of topographic correction yields the data that would have been measured at a flat surface. If both inhomogeneous resistivity structures and an undulated surface should be considered the topographic correction by the calculated factors can only be an approximation.

The correction factors are applied to the data from the forward and backward mode of the Half-Wenner configuration. Finally, the average of the two corrected values is taken. Fig. 5 shows the shifted averaged pseudo-section. The changes compared to the uncorrected pseudo-section in Fig. 2 are rather small. The





**Fig. 5: Averaged pseudo-sections of profile C1 with topographic correction and shifting according to true z-coordinates of electrodes.**

## INVERSION

In order to transform the measured apparent resistivity data into a true resistivity structure an inversion algorithm is necessary. The inversion looks for a resistivity model of the subsurface that is able to fit the measured data. In the case of a single profile in y-direction and assuming a resistivity structure varying only in y- and z-direction, a two-dimensional inversion scheme can be applied.

We use an inversion program that is based on a finite difference (FD) forward modelling and a simultaneous iterative reconstruction technique (Kampke, 1996). Since the FD code is restricted to a rectangular grid only a flat surface can be considered.

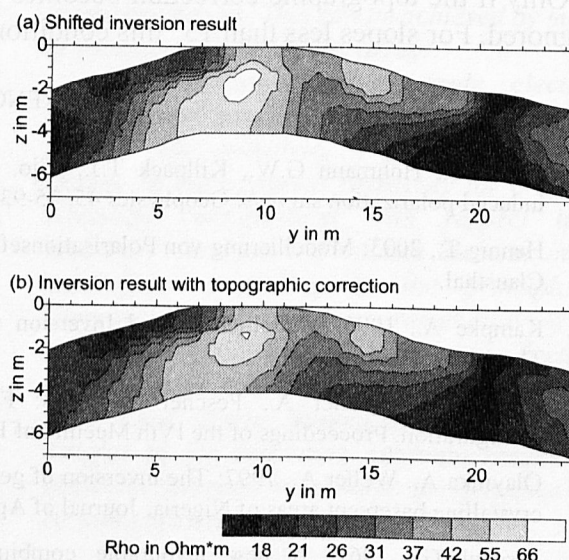
In a first step, the original apparent resistivity data measured in forward and backward mode are inverted ignoring any topographic effects. The average error after ten steps of iteration reaches 9.3 per cent. The resulting model that is shown in Fig. 6a is shifted vertically according to the surface topography.

The same inversion program has been applied to the data set that was modified by the topographic correction. The resulting model after ten steps of iteration is displayed in Fig. 6b. The average error has been reduced to 7.6 per cent. Only slight differences can be recognised between the two results. The main feature is a resistive anomaly at the position  $y = 9.5$  m with its centre 2 m below the dike surface. The resistivity maximum reaches 68.1 Ohm\*m in the inversion result of the uncorrected data and 66.3 Ohm\*m with the topographic correction. Another near surface resistive anomaly is observed at  $y = 15$  m at the flank of the land side of the dike.

## DISCUSSION

With the data of a profile crossing the dike it could be verified that the pseudo-section of the averaged three-electrode configuration gives a reliable image of the subsurface resistivity distribution that is useful for a first interpretation in the field.

The pseudo-sections of the forward or backward Half-Wenner configuration result only in a distorted image of the resistivity structure. The simple averaging of the two pseudo-sections has a focussing effect that produces images that can be compared with the inversion results. The main features of the resistivity structure can be identified by the averaged pseudo-section. The size and depth of the structural elements and the



**Fig. 6: Results of resistivity inversion of profile C1. (a) With original data. (b) With topographic correction.**

resistivity contrast will be better resolved after an inversion. But in the case of the smooth inversion procedures the true resistivity contrast is not reached. It should also be kept in mind that the principle of equivalence that is valid in electrical imaging implies that a variety of models is able to fit the measured data. The inversion procedure gives only one model that may differ from reality. A realistic model can be achieved if all known information is considered as additional constraint in the inversion procedure (Olayinka and Weller, 1997).

If a resistivity profile crosses a dike topographic effects have to be considered. Even if the dike consists of homogeneous material the dike topography causes apparent anomalies in the pseudo-sections. The topographic effects can be calculated by FE modelling. The topographic effect that is determined for a homogeneous resistivity distribution can be transformed into a topographic correction factor.

The topographic effect generally increases with rising slopes of the dike flanks. But the effects also depend on the configuration that is used for imaging. Compared to a three-electrode array the topographic effect is remarkably reduced by averaging a forward Half-Wenner with a backward Half-Wenner configuration.

The example of profile C1 shows that the topographic correction for slopes of up to  $18^\circ$  becomes less than 10 per cent for nearly all averaged configurations. Consequently, the changes in the pseudo-sections and in the inverted images are only small if the topographic correction is applied.

Since the averaged three-electrode array is less sensitive to topography their pseudo-section is suitable to give an approximate image of the resistivity distribution in the field. A detailed interpretation requires a topographic correction. In order to determine the correction factors the dike topography and the electrode positions should be surveyed. Strictly speaking, not the slope but the changes in the slope cause the topographic effects. A long profile at only one flank of the dike with constant slope does not require any topographic correction. The changes in slope from the land side flank to the top of the dike and then from the top to the river side flank are the important quantities.

Only if the topographic correction becomes less than the error of measurements it can be ignored. For slopes less than  $15^\circ$  this condition is normally fulfilled.

#### REFERENCES

- [1]. Fox R.C., Hohmann G.W., Killpack T.J., Rijo, L., 1980: Topographic effects in resistivity and induced polarization surveys. *Geophysics* 45, 75-93.
- [2]. Hennig T., 2003: Modellierung von Polarisierungseffekten mit Finiten Elementen. Diploma Thesis, TU Clausthal.
- [3]. Kampke A., 1996: Modellierung und Inversion von Daten der induzierten Polarisation. Diploma Thesis, TU Braunschweig.
- [4]. Kampke A., Weller A., Peschel G., 1998: Focussing effect of an averaged three-electrode configuration. *Proceedings of the IVth Meeting of EEGS – European Section, Barcelona*, p. 865-868.
- [5]. Olayinka A., Weller A., 1997: The inversion of geoelectrical data for hydrogeological applications in crystalline basement areas of Nigeria. *Journal of Applied Geophysics* 37, 103-115.
- [6]. Peschel G., 1967: A new favourable combination of resistivity sounding and profiling in archaeological surveying. *Prospezioni Archeologiche* 2, 23-28.
- [7]. Tsourlos P.I., Szymanski J.E., Tsokas G.N., 1999: The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays. *Geophysics* 64, 1357-1363.



# SENSITIVITY AS A TOOL TO ANALYSE AND IMPROVE THE RESOLUTION OF ELECTRODE CONFIGURATIONS FOR DIKE INVESTIGATION

**Sabine Preusse and Andreas Weller**

*Institute of Geophysics, Technical University Clausthal, Germany*

*Email: andreas.weller@tu-clausthal.de*

## TÓM TẮT

### **SỬ DỤNG ĐỘ NHẠY NHƯ CÔNG CỤ ĐỂ PHÂN TÍCH VÀ NÂNG CAO ĐỘ PHÂN GIẢI CỦA HỆ CỰC TRONG KHẢO SÁT ĐÊ.**

Một số hệ điện cực được sử dụng trong khảo sát mặt cắt điện trở trên các đê sông bằng thiết bị địa điện đa cực. Mỗi hệ điện cực có đặc trưng riêng liên quan đến độ phân giải của nó. Độ ổn định của hệ cực này phụ thuộc vào mục đích sử dụng.

Mục tiêu nghiên cứu của chúng tôi là phát triển một phương pháp địa điện để xác định tổ mối trong thân đê. Các tổ mối có kích thước đến vài mét khối gây nguy hiểm đến độ ổn định của đê. Kết quả điện trở suất thu được cho thấy các chỉ thị về cấu trúc tổ mối là khá yếu và nó rất dễ bị xem như nhiễu môi trường. Vì thế cần thiết phải nâng cao độ phân giải của các phương pháp địa điện ở các độ sâu lớn hơn. Điều này có thể đạt được bằng phương pháp tập trung tập hợp các giá trị điện trở.

Độ phân giải của hệ cực đơn được đánh giá bởi độ nhạy của nó. Độ nhạy là độ đo sự thay đổi điện trở suất biểu kiến của hệ cực đó đối với sự thay đổi điện trở suất của một đơn vị thể tích nằm gần bề mặt. Theo nguyên lý chồng chập thì tổng theo trọng số của các điện trở suất biểu kiến ở các hệ cực khác nhau có thể tạo ra độ nhạy cao hơn ở cùng một độ sâu. Tổng với các trọng số như nhau của các điện trở suất biểu kiến tương ứng phản ánh cấu trúc điện trở ở độ sâu đó.

## ABSTRACT

Several electrode configurations are used for resistivity profiling with multi-electrode systems on river dikes. Each electrode configuration inhibits characteristic features concerning its resolution. Hence the suitability of a certain configuration depends on the task for which it is used.

The main purpose of our research was to develop a geoelectrical method to locate termite nests which are buried deeply in the dike body. Having a volume of up to several cubic metres, these termite nests endanger the stability of the dike.

In the surveyed apparent resistivities, the indications of these structures are rather weak and they are easily overlooked in a noisy environment. Therefore it is necessary to improve the resolution of geoelectrical methods at greater depths. This can be achieved by means of focussing the resistivity arrays.

The resolution of a single electrode configuration can be assessed by its sensitivity pattern. The sensitivity is a measure for the change in the apparent resistivity for a certain electrode configuration with respect to a resistivity change in a volume element in the subsurface. According to the principle of superposition, a weighted summation of the sensitivity patterns of different electrode configurations may result in a higher sensitivity at a fixed depth. Summation with the same weights of the according apparent resistivities yields an indicator that shows the presence of a certain resistivity structure at this depth.

## INTRODUCTION

Resistivity imaging is a widespread technology used in dike investigation. The development of powerful multi-electrode systems enables efficient data acquisition. This makes rapid geoelectrical surveys at the top or at the flanks of the dike possible. The data

processing is based on modern inversion algorithms that provide depth sections of so-called "true resistivity". A variety of different electrode configurations is available for resistivity profiling. Unfortunately the choice of the electrode configuration is more or less based on habit or the standard option of the equipment.

Only in rare cases it is analysed what kind of electrode configuration or what combination of different configurations provides the best resolution for the aim of the survey.

From several papers and reports, it becomes obvious that Wenner- $\alpha$  and dipole-dipole arrays are most frequently used on dikes. It is known that the Wenner- $\alpha$  configuration is suitable to resolve resistivity changes with depth though its lateral resolution is rather bad. Dipole-dipole configurations provide a good lateral resolution but it is difficult to estimate the true depth of the structures. In addition, dipole-dipole arrays are severely affected by noise, as the measured signal will decrease dramatically if the spacing increases.

There are some other options for more suitable electrode configurations for multi-electrode systems. The simple combination of Wenner- $\alpha$  and Wenner- $\beta$  (Kampke, 1999) combines both the good resolution in depth and the high lateral sensitivity. Peschel (1967) recommended the three-electrode configuration which is also called Half-Wenner configuration. The average of a three-electrode forward reading (A - na - M - na - N, a is the fixed electrode distance, n an integer factor) and the equivalent three-electrode backward reading (N - na - M - na - A) with the same position for M results in a focussed response in the same way as the average of a Wenner- $\alpha$  and Wenner- $\beta$  reading. The averaged pseudo-sections show the main features of the subsurface resistivity distribution.

The focussing of the electrical current by resistivity tools in order to resolve certain structures is a well accepted tool in borehole geophysics. It can be shown that the technical focussing can be replaced by a numerical superposition of different configurations. In the case of a Laterolog-7, the readings of twelve pole-pole configurations are combined to generate the response of a focussed tool that is able to resolve thin highly resistive beds.

In this paper, a method is proposed to combine the basic readings of a multi-electrode survey to get the response of a focussed resistivity measurement.

## RESULTS OF MODELLING

Termite nests that are close to the dike surface are easily detected. More problematic are the nests at greater depth. A comprehensive study was made with two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) modelling to find out the response to termite nests of different size and at different depth.

A termite nest is regarded as a highly resistive body embedded in homogeneous half-space with material of 25 Ohm\*m. A resistivity contrast of 1 : 100 has proved to be sufficient to model an air filled cavity. A further increase of the contrast does not result in a significantly higher resistivity anomaly.

Fixing the upper boundary at a depth of four metres, a test with 2D models exhibits a nearly linear relationship between the cross-sectional area of the cavity and the relative change in the measured apparent resistivity. In the case of the averaged Half-Wenner configuration, a measurable effect of more than three per cent will only be reached if the cross-sectional area exceeds 1.8 m<sup>2</sup>.

A 2D modelling will only be justified if the cavity is extended in the direction perpendicular to the profile. A more realistic assumption of cubic or spherical cavities requires a 3D modelling. Assume a cubic air filled cavity with a side length of 2 m and its



midpoint in 5 m depth. As shown in Fig. 1, the maximum relative anomaly that can be measured above the structure reaches only 1.4 per cent for the Wenner- $\beta$  configuration, 1.2 per cent for the averaged Half-Wenner configuration and less than 0.7 per cent for Wenner- $\alpha$  with respect to the homogenous half-space.

The results of modelling show that it is difficult to resolve a cavity in 4 m depth with a conventional resistivity survey. It should be kept in mind that the specific geometry of the dike has not been considered in the modelling. The dike geometry restricts the current to a smaller volume than the half space. This geometrical focussing will yield slightly larger anomalies for the termite nests. It is expected that the loosening around the nest will also lead to an increase in resistivity.

## SENSITIVITY IMAGES

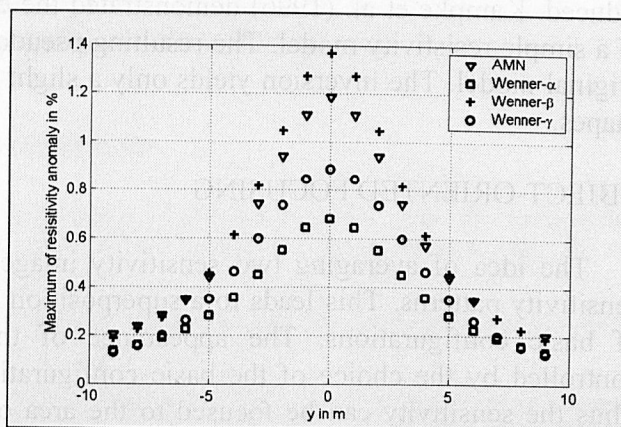
The sensitivity describes a change in the measured apparent resistivity with respect to a resistivity change at a specific location, e.g. in a small volume element in the subsurface. The sensitivity image is calculated for the homogeneous half-space consisting of volume elements that are equal in size. The determined sensitivity is attributed to the midpoint of the element. 3D sensitivity modelling results in a 3D block of data. For display, horizontal and vertical slices are regarded. Since the sensitivity is a dimensionless positive or negative quantity that varies over several orders a normalisation is necessary. A positive sensitivity causes the apparent resistivity to increase if the intrinsic resistivity in the regarded element is increased. A negative sensitivity yields an inverse behaviour: an increase of the intrinsic resistivity leads to a decrease in apparent resistivity and vice versa.

The sensitivity data can be used to analyse the resolution power of different electrode configurations in both horizontal and vertical direction. The main application of the sensitivity is their use as Jacobi-matrix in inversion algorithms. Since the sensitivity relates the resistivity change in the model to the change in measured data, some approximate forward modelling algorithms also use it to predict the apparent resistivity anomaly.

## SYNTHETIC FOCUSING

According to potential theory the principle of superposition is valid for resistivity configurations. As known from the Laterolog-7, which is used in resistivity well logging, sophisticated electrode configurations are composed of a variety of basic configurations. The measured value results from a weighted summation of their readings. The sensitivity of those composed arrays is determined by the same weighted summation of the sensitivity patterns of the basic configurations (Furche and Weller, 2002). The aim of Laterolog tools in well logging is the direct determination of the true layer resistivity without any inversion.

The simplest way of synthetic focusing is the averaging of two electrode configurations. The sensitivity image of the averaged Wenner- $\alpha$  and Wenner- $\beta$



**Fig. 1: Maximum of relative resistivity anomaly of a cubic cavity (2 m x 2 m x 2 m, centre at 5 m depth) for different electrode configurations and distances from the central profile.**

configuration shows an elongated area of positive sensitivity directly beneath the centre of the synthetic configuration. The average of the Half-Wenner forward and backward modes show a more accentuated sharp structure of increased positive sensitivity that enables a focussed imaging (Kampke, 1999). Also, the areas of negative sensitivity are widely reduced. Kampke et al. (1996) demonstrated the effect of synthetic focussing on the basis of a simple resistivity model. The resulting pseudo-section reveals the main features of the original model. The inversion yields only a slight improvement of resistivity contrasts and shapes.

## OBJECT-ORIENTED FOCUSING

The idea of averaging two sensitivity images may be transferred to more than two sensitivity patterns. This leads to a superposition of sensitivity patterns of a large number of basic configurations. The appearance of the resulting sensitivity pattern can be controlled by the choice of the basic configurations and by assigning different weights. Thus the sensitivity can be focused to the area of structure of interest in the subsurface. This procedure shall be called object-oriented focussing (OOF).

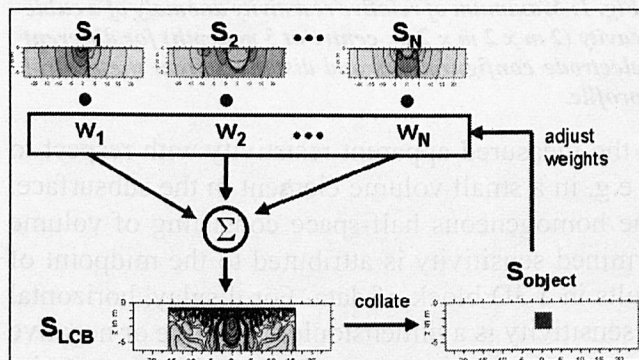


Fig. 2: Schema of object-orientated focusing.

As shown in Fig. 2, an optimisation algorithm is developed that determines the weights ( $w_1, w_2, w_N$ ) for given basic configurations in order to find a good approximation of the target function  $S_{Object}$ . This function represents the structure of interest. It is a sensitivity pattern with a non-vanishing positive value within this structure and zero outside. The structure itself may represent a termite nest with a fixed size at a certain

depth. The non-zero sensitivity values are chosen so that they add up to one.

The weighting coefficients obtained by the OOF are used to linearly combine the apparent resistivities belonging to the basic configurations. In a first numerical experiment, a set of 156 Half-Wenner readings has been used. With an increasing number of basic data the fitting of the target function can be improved. Thus a test with synthetic data that is obtained by modelling the predefined structure should exhibit a sharp maximum at the location of the structure. Contrary spurious secondary minima and maxima already visible in the resulting sensitivity pattern from the OOF make the interpretation of the focussing curves more difficult.

## DISCUSSION

The Half-Wenner configuration was used for most of the resistivity profiles measured in the province Thai Binh. A variety of termite nests can be recognised in the pseudo-section of the averaged Half-Wenner configuration. Thus this type of configuration has proved to be successful in detecting shallow termite nests.

Termite nests at a depth greater than 4 m are difficult to find. The power of resolution can be increased by synthetic focussing using a variety of basic configurations at the same time. This technology requires a high data quality and long and overlapping profiles. Thus



a roll along technology has to be applied in dike surveys to ensure a complete coverage of the subsurface between adjacent profile segments.

Further work is necessary to improve the technology of object-oriented focussing. The target function has to be modified in order to avoid the spatial undulation causing side peaks in the focussing curves. The number of basic data should be optimised regarding the influence of error propagation and the applicability to smaller data sets.

## REFERENCES

- [1]. Furche M., Weller A., 2002: Sensitivity distributions of different borehole electrode configurations considering a model with a cylindrical coaxial boundary. *Geophysical Journal International* 149, 338-348.
- [2]. Kampke A., 1999: Focused imaging of electrical resistivity data in archaeological prospecting. *Journal of Applied Geophysics* 41, 215-227.
- [3]. Kampke A., Weller A. and Peschel G., 1998: Focussing effect of an averaged three-electrode configuration. *Proceedings of the IVth Meeting of EEGS – European Section, Barcelona*, p. 865-868.
- [4]. Peschel, G., 1967: A new favourable combination of resistivity sounding and profiling in archaeological surveying. *Prospezioni Archeologiche* 2, 23-28.

## STUDY ON REMOVAL OF GEOMETRIC DISTORTION BY MEANS OF FINITE-ELEMENT DERIVED CORRECTION APPLIED TO GEOELECTRIC TOMOGRAPHIC FIELD RECORDS

Hans-Peter Mueller

ABE-geo, D-30303 Burgdorf, Germany

Email: abegeo.hpm@t-online.de

### TÓM TẮT

#### NGHIÊN CỨU LOẠI BỎ NHIỀU ĐỊA HÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN VÀ ỨNG DỤNG CHO CÁC SỐ LIỆU ĐO CẮT LỚP ĐỊA ĐIỆN

Nghiên cứu độ ổn định của thân đê trên một vài mặt cắt đê sông ở Tây Đức, tác giả đã nhận thấy rằng các mặt cắt địa điện thiếu chính xác do ảnh hưởng địa hình bề mặt đê. Để thu thập số liệu, máy ghi IMPETUS-12 đã được sử dụng với hệ cực đo bán Wenner. Để khắc phục được các nhiễu loạn do độ dốc, nảy sinh một nhu cầu về phương pháp hiệu chỉnh địa hình toàn diện. Chương trình FEM3 dựa trên mô hình phần tử hữu hạn để hiệu chỉnh địa hình đã được sử dụng. Một vài kết quả đã chứng minh hiệu quả của phép hiệu chỉnh này.

### ABSTRACT

Investigating several sections of a river dike for stability of its body in western Germany, I found that geoelectrical tomographic cross sections lacked of precision because they were distorted by the dike's surface topography. For data acquisition the IMPETUS-12F© recording unit was used to perform a Half-Wenner-layout survey. To overcome the slope-dependent distortions, the need of a comprehensive topographic correction method arose. The FEM3 program based on a finite element modelling for topographic correction is used. Some results demonstrate the effect of this correction.

### INTRODUCTION

In field practice, it is common use to tape-measure the recording station's distances of a profiling line – a quite coarse procedure-combined with precise geodetic measurement of some distinct heights at the slopes of a dike. Applying the thus derived geometric correction to each recording station, only the vertical component of the displacement is considered. It does not take into account any lateral displacement that is caused by the distortion of the electric field by topographic effects. It becomes obvious that a topographic correction is required to overcome the distortion.

This study presents several field examples investigating the role of the geometrically dependent deformation of its data.

### METHODOLOGY

GEOTOM®, the so-called **G**eolectric **C**omputer **T**omography technique fulfils the user's requirements regarding robustness and flexibility of the system along with quality control in the field. Cost effectiveness is guaranteed by the low personnel expenditure. The image-like output is presented in an easy interpretable way, normally at a predictable spatial sensor resolution.

The core of the recording system is the IMPETUS-12F©, the PC-based recording computer unit, developed by Büro für ingenieurgeophysikalische Messungen GmbH in Greifswald. The recording unit ensures all electrodes to be connected and sufficiently coupled during the data acquisition process. GEOTOM® uses eleven steel electrodes, to be set onto the ground in equidistant spacing while the twelfth electrode is used as so-called



infinite current electrode B, which is placed at some distance from the line. The survey pattern is shown in Fig. 1.

The Half-Wenner configuration is characterised by the facts that half the layout length corresponds to the depths of penetration. The respective electrode distance corresponds to a distinct spatial resolution. The survey is carried out while eleven electrodes, which form the survey pattern, are laid out for profiling. To generate an artificial electrical field in the ground, IMPETUS-12F© generates a low-frequency alternating current that is injected.

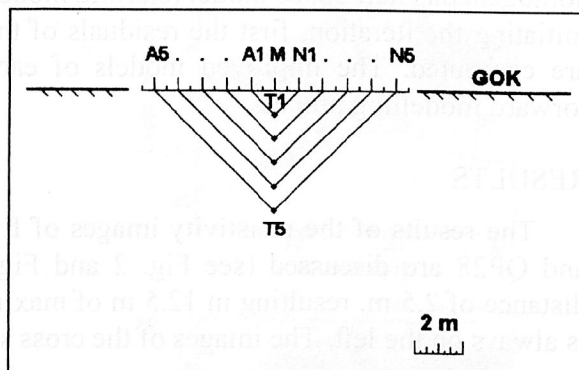


Fig. 1: Survey-pattern of GEOTOM®.

After having completed all field cable connections, the computer starts the data acquisition, beginning with both the outmost electrodes A5 and N5 as shown in Fig. 1. This pair of electrodes is thus systematically connected in sequence as source and potential probes for the measuring cycle. Each individual measuring cycle is repeated due to a pre-defined number of stacks while mutually using them with switched polarity. With stabilised signals received, stacking is granted to form the data values of the deepest pseudo-depth T5 at the first midpoint M0, the actual survey pattern in the line. The apparent electrical resistivity is derived from the potential difference measurements between the electrodes M0 and N5. This procedure is redone for the next four pseudo-depths T4 to T1 related to the midpoint M0. By stepping to the next inner electrodes A4 and N4 and measuring T4 first, the procedure ends up with the most inner pair of electrodes A1 and N1 for T1, respectively.

Having acquired nothing but the pseudo-depth T5 of the current survey pattern, the outmost left electrode (A5) is removed and repositioned in front of N5. For time-saving purpose, connecting to the field cable is performed to build up the following pattern with midpoint M1 while recording at midpoint M0 is still underway. These results in a rapid roll-along measurement, with the geoelectrical data of the five different effective pseudo-depths digitally stored for each midpoint at the line.

The software package of GEOTOM® contains a bundle of utilities to perform data processing and interpretation providing easy use of Surfer® afterwards. The data transformation is performed in four steps. Its processing sequence starts with the raw field data delivered from the recording unit, followed by these steps:

1. Verify data to generate primary file,
2. Run FEM3 to generate topographic correction,
3. Run 2D-Inversion (BIGM-SIRT),
4. Apply line co-ordinates and interpolated heights to generate shifted data.

Besides the inversion file which is used in Surfer® as input for griddling to end up in the contoured plot file for presentation purpose, the last step delivers two more files:

The blanking grid and boundary files, which mark the data limits of the resulting resistivity image according to presumptions of the authentic depth “illuminating” the subsurface.

Preparing the script of the inversion process to be executed, one of the decisions to be made deals with the question, whether a definite starting model shall be created. If so, starting model option 1 is activated, what means, that the apparent resistivity values of the

topographically corrected field data are used as starting model. If not, input is based on a homogeneous half-space model (starting model option 0).

Initiating the iteration, first the residuals of the starting model in relation to the field data are computed. The improved models of each inversion step are the basis of the next forward modelling process.

## RESULTS

The results of the resistivity images of five cross sections QP21, QP29, QP26, QP27 and QP28 are discussed (see Fig. 2 and Fig. 3). The survey pattern used has a station distance of 2.5 m, resulting in 12.5 m of maximal pseudo-depth. The river side of the dikes is always on the left. The images of the cross sections are compared under several aspects:

1. What results are achieved by applying topographic correction on the distorted resistivity images?
2. What influence has the type of the used starting model?
3. What is the authentic depth concerning the actual survey pattern?

Figures 2 and 3 show different inversion results (starting models 1 or 0, respectively) with topographic correction applied, down to some 13 m depth. Profiling direction was from left to right.

### *Cross section QP21*

Fig. 2a to 2c present the resistivity images of line QP21. The slope at the dike's left side is about  $18^\circ$ ; the steepest descent on the right reaches  $23^\circ$ . The near surface maximum anomalies with values up to some  $1000 \Omega\text{m}$  remain at their former positions. On the contrary Fig. 2a, showing the former result, i.e. its distorted resistivity image, compared with Fig. 2b and Fig. 2c, reveals, that nevertheless, what starting model is used, the single high anomaly value in greater depth increases to  $100\text{--}155 \Omega\text{m}$ . Its shape is shifted to a central position below the dike. This result seems to be a typical example to demonstrate, how the proposed method works. There is no specific influence visible what kind of starting model is used.

### *Cross section QP29*

Fig. 2d to 2f present the resistivity images of line QP29. The dike's steepest descent on both sides has increased to  $25^\circ$  with no visible effect on the near surface results. The maximum anomalies remaining where they were before. Only Fig. 2f compared with its distorted original image (Fig. 2d) shows a single strong anomaly in greater depth under the dike with resistivity values increasing to more than  $150 \Omega\text{m}$ . This contrasts with Fig. 2e, where the corresponding resulting anomaly under the centre of the dike is weaker ( $120 \Omega\text{m}$ ) and looks like being an intermediate phase between Figures 2d and 2e. An explainable interpretation of this influence of the starting model type is the following:

Though there is no evidence for a strong anomaly existing in greater depth, the inversion process tends to form a distinct maximum, anyhow when running the inversion with a homogeneous starting model. From this observation can be concluded, that the inversion starting with the topographically corrected pseudo-section as model better suits to reality, i.e. in consequence, Fig. 2e is more reliable than Fig. 2f.



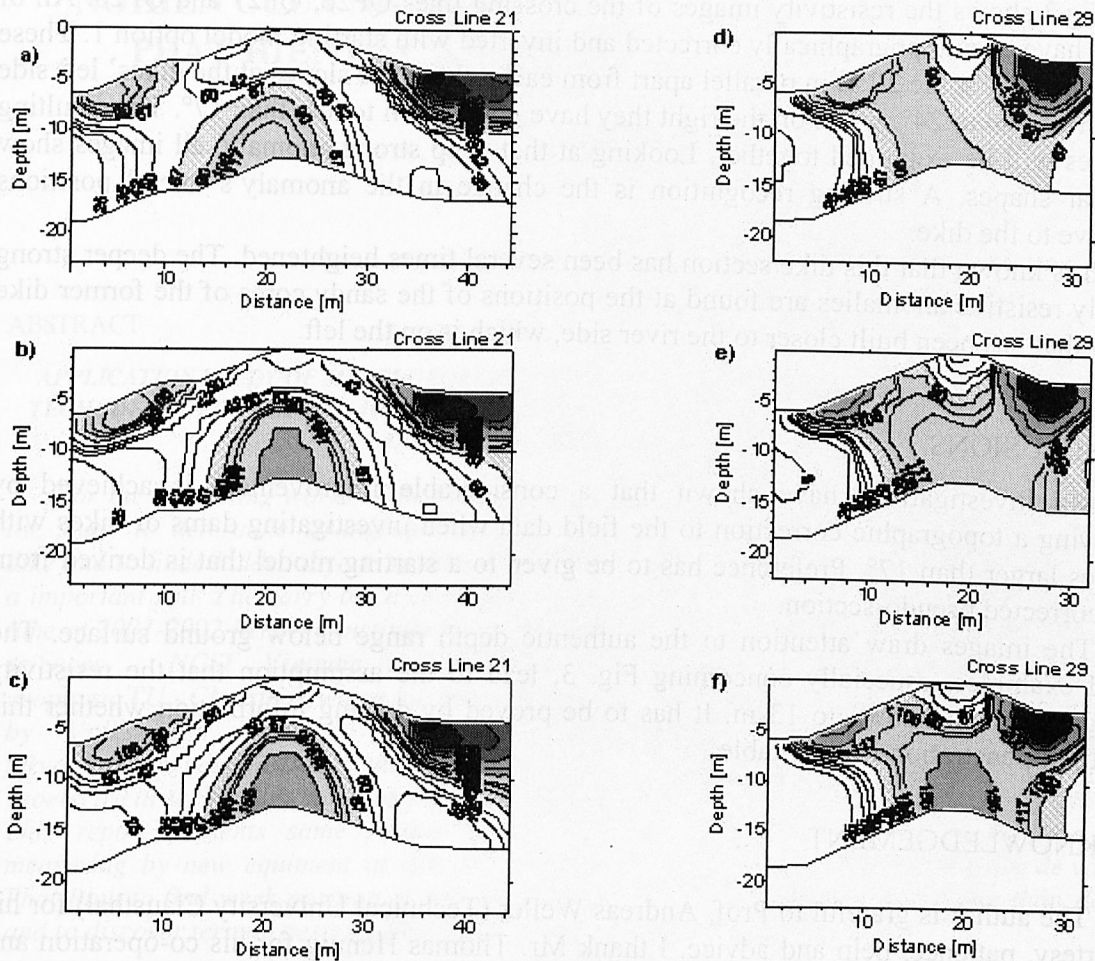


Fig. 2: Cross sections of QP21 (left col.) and QP29 (right col.) with BIGMSIRT applied a), d) Input: Starting model I Distorted result b), e) Input: Starting model I Topographic correction applied c), f) Input: Starting model = 0 Topographic correction applied

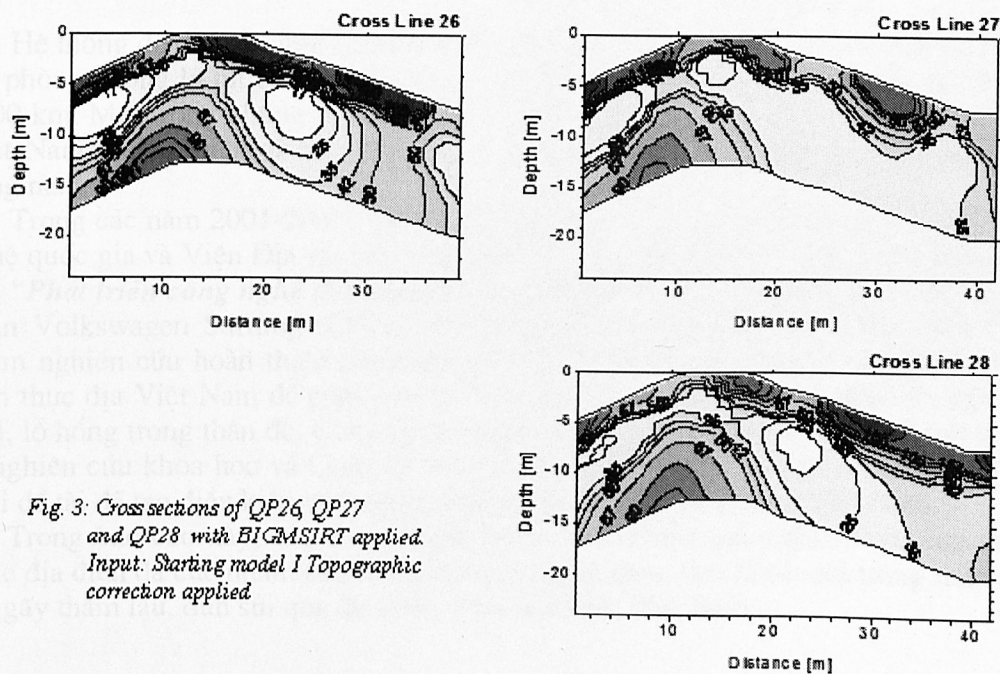


Fig. 3: Cross sections of QP26, QP27 and QP28 with BIGMSIRT applied. Input: Starting model I Topographic correction applied

### *Cross sections QP26, QP27 and QP28*

Fig.3 shows the resistivity images of the crossing lines QP26, QP27 and QP28. All of them have been topographically corrected and inverted with starting model option 1. These lines are only some 20 m in parallel apart from each other. The slopes at the dikes' left side have risen up to  $24^\circ$ , while on the right they have gone down to less than  $17^\circ$ . The resulting images will be examined together. Looking at that deep strong anomaly, all images show similar shapes. A striking recognition is the change in the anomaly's lateral positions relative to the dike.

It is known that this dike section has been several times heightened. The deeper strong highly resistive anomalies are found at the positions of the sandy cores of the former dike body that has been built closer to the river side, which is on the left.

### CONCLUSIONS

My investigations have shown that a considerable improvement is achieved by applying a topographic correction to the field data when investigating dams or dikes with slopes larger than  $17^\circ$ . Preference has to be given to a starting model that is derived from the corrected pseudo-section.

The images draw attention to the authentic depth range below ground surface. The field examples, especially concerning Fig. 3, lead to the assumption that the resistivity images are valid down to 13 m. It has to be proved by drilling information whether this depth of penetration is acceptable.

### ACKNOWLEDGEMENT

The author is grateful to Prof. Andreas Weller (Technical University Clausthal) for his courtesy, patience, help and advice. I thank Mr. Thomas Hennig for his co-operation and support, providing essential parts of data processing.



## NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐỊA ĐIỆN ĐA CỰC PHÁT HIỆN CÁC ẪN HỌA TRONG ĐÊ Ở THÁI BÌNH

Trần Cảnh\*, Đoàn Văn Tuyền\*

Andreas Weller\*\*, Sabine Preusse\*\*, Nguyễn Trọng Vũ\*\*\*

\*) Viện Địa chất - TTKHTN & CNQG

\*\*) Viện địa vật lý - DHKT Clausthal

\*\*\*) Viện Vật lý Địa cầu - TTKHTN & CNQG

### ABSTRACT

#### **APPLICATION STUDY OF MULTI-GEOELECTRICAL TECHNOLOGY FOR FINDING HIDDEN DEFECTS AT DIKE IN THAI BÌNH**

*For the protesting works of flood in Vietnam, the study to determine stratigraphy structure of dike and to find hidden defects in dike body plays a important roll. The carry out a co-project in the time of 2001-2002 between institute for geological sciences - NCST Vietnam and institute of geophysic TU - Clausthal, which has been financed by Volkswagen Stiftung (Germany) create farvourable condision to use the multi-electrodes geoelectrical technology to solve problems above. This report presents same results of the test measuring by new equiment at dike in province Thai Bình to find week position of dike fundament and to discover termite nests in dike body.*

### TÓM TẮT

Nhiệm vụ nghiên cứu cấu trúc địa chất của đê và phát hiện xử lý các ẩn họa đối với đê có vai trò rất quan trọng trong công tác phòng chống lũ lụt ở Việt Nam. Việc triển khai thực hiện đề tài hợp tác khoa học công nghệ năm 2001-2002 của Viện Địa chất - TTKHTN & CNQG Việt Nam và Viện Địa vật lý - Đại học kỹ thuật Clausthal (CHLB Đức), do quỹ Volkswagen Stiftung tài trợ, đã tạo điều kiện áp dụng công nghệ địa điện đa cực để góp phần giải quyết nhiệm vụ trên. Báo cáo này giới thiệu một số kết quả đo đạc thử nghiệm công nghệ mới nhằm phát hiện các đối tượng yếu trong nền đê và xác định vị trí các tổ mối trong thân đê tại tỉnh Thái Bình

### MỞ ĐẦU

Hệ thống đê điều ở vùng Châu thổ Sông Hồng có vai trò đặc biệt quan trọng trong công tác phòng chống lũ lụt của Việt Nam. Hệ thống đê này hiện tại có tổng độ dài lên đến trên 6000 km. Một trong những nhiệm vụ hàng đầu của công tác phòng chống thiên tai lũ lụt ở Việt Nam là phát hiện và xử lý các ẩn họa nằm trong nền và thân đê trước mùa mưa bão hàng năm.

Trong các năm 2001-2002, Viện Địa chất thuộc Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ quốc gia và Viện Địa vật lý trường DHKT Clausthal (CHLB Đức) triển khai đề tài hợp tác: “**Phát triển công nghệ địa điện đa cực tìm tổ mối trên đê chống lụt**”. Đề tài được cơ quan Volkswagen Stiftung (CHLB Đức) tài trợ kinh phí thực hiện. Mục tiêu của đề tài nhằm nghiên cứu hoàn thiện công nghệ đo địa điện đa cực, thiết bị đo phù hợp với điều kiện thực địa Việt Nam để phát hiện một số ẩn họa trong nền đê và thân đê, đặc biệt là tổ mối, lỗ hổng trong thân đê. Công tác thử nghiệm công nghệ mới đã được các cơ quan Quản lý nghiên cứu khoa học và Quản lý đê cho phép thử nghiệm trên đê Thái Bình. Việc triển khai đề tài đã tạo điều kiện triển khai công nghệ địa điện đa cực tại Việt Nam.

Trong báo cáo này, các tác giả giới thiệu một số kết quả nghiên cứu ứng dụng công nghệ địa điện đa cực nhằm phát hiện các đối tượng quan tâm là tổ mối trong thân đê và các đối gây thấm lậu, đùn sủi qua đê trong mùa lũ ở tỉnh Thái Bình.

## TÌNH HÌNH ĐÊ Ở THÁI BÌNH

### Tình hình chung

Thái Bình là một tỉnh có hệ thống đê điều dài nhất miền Bắc nước ta, bao gồm 211,3 km đê sông (trên các sông Hồng, sông Hoá, sông Luộc và sông Trà Lý) cùng với 151,7 km đê biển (Biển Đông). Trong mùa mưa lũ hàng năm, mặt bằng dân cư sinh sống và đất đai canh tác nằm thấp hơn mực nước của các sông bao phủ từ 3 đến 5 mét. Điều này có nghĩa là bất kỳ mối ẩn họa nào đối với các tuyến đê của tỉnh mà chưa được xử lý trước mùa mưa lũ sẽ có thể gây tai họa biến cả tỉnh thành biển nước và thiệt hại lớn lao về người và của.

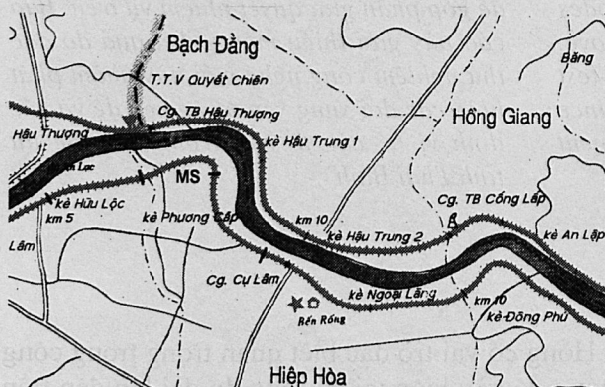
Theo các báo cáo hàng năm: “Tình hình đê điều tỉnh Thái Bình” từ 1998 đến 2001 của Chi cục PCBL và QLD tỉnh, thì hiện tại chất lượng các tuyến đê của tỉnh Thái Bình còn tới 70% thuộc loại xung yếu [1]. Trên các tuyến đê xung yếu tồn tại hai loại ẩn họa chính tác động, làm chất lượng đê suy giảm, thường gây ra các sự cố đe dọa vỡ đê trong mùa lũ là:

- Các vị trí nền đê xung yếu do thân đê nằm trực tiếp trên các lòng sông cổ, các thấu kính cát dễ hoá lỏng hoặc đới khe nứt kiến tạo v.v... Hàng trăm điểm mạch dùn sủi và phun nước ở vùng chân đê phía đông đã được phát hiện và theo dõi trong các mùa lũ 1998-2001.

- Các quần thể tổ mối sinh sôi nảy nở trong thân đê và sườn đê, tạo ra các hang hốc, lỗ hổng mà hàng năm phải tốn nhiều nhân lực để phát hiện và loại trừ. Tổng số tổ mối và khối đất xử lý các năm 1998 đến 2001 là 13.141 tổ và 52.538 m<sup>3</sup> đất.

*Hiên trang đoan đê thử nghiêm*

Đoạn đê thử nghiệm nằm ở phía tây bắc tỉnh lỵ Thái Bình, dài 700 mét (từ km 6+188 đến km6+888), thuộc xã Hiệp Hòa, huyện Vũ Thư, tỉnh Thái Bình – Hình 1. Cao độ



**Hình 1: Sơ đồ khu vực đề nghiên cứu thử nghiệm tại Thái Bình (đoan đê MS)**

Fig 1: Schema of studied profiles at dike Hiep Hoa, Thai Binh marked MS

trung bình của mặt đê là 6,80 m và của chân đê phía đông là 3,80 m. Đây là đoạn đê xung yếu của đê sông Trà Lý chảy từ Sông Hồng theo hướng Đông Nam ra Biển Đông .

Trong thời gian lũ của các năm trước đây đã xảy ra hiện tượng thấm lậu, nước ngầm mạnh sang mái đê phía đông; trên ruộng lúa và đầm ao sát chân đê có nhiều vị trí đùn sủi mạnh. Dọc theo đoạn đê từ km 6+000m đến km7+000, trước kia là ruộng lúa và đầm ao, do xuất hiện nhiều vị trí đùn sủi mạnh trong mùa lũ, Cơ quan quản lý đê đã xử lý bằng cách lấp các đầm ao, như trên hình 2a và 2b.



**Hình 2a: Dấu vết dùn sủi ở đầm và thắm trên sườn  
đê Hiệp Hoà Thái Bình 7/1998**

*Fig 2a: Traces of seepage location at dike slop and water push out at dike footing in Hiep Hoa, Thai Binh 7/1998*



**Hình 2b: Đầm ven đê đã được lấp 8/2000**

*Fig 2b: The marsh at dike footing have been filled up  
8/2000*

Đoạn dê này lại thường xuyên bị sinh vật mối tác động phá hoại. Sườn dê và thân dê phía đông hàng năm đều phải huy động sức người phát hiện dấu hiệu hoạt động của mối trên



mặt, đào tìm mối chủa và lấp tổ mối vào thời gian trước 30 tháng 5. Chỉ trên đoạn này, năm 2000, đã phải đào 22 vị trí và năm 2001 phải đào 24 vị trí để diệt mối.

## KỸ THUẬT ĐO ĐẠC VÀ PHÂN TÍCH TÀI LIỆU

### Kỹ thuật đo

Ở các nước phát triển như Châu Âu, Mỹ, Canada, Úc công nghệ địa điện đa cực (multi-electrode geoelectric technique) đã được sử dụng rộng rãi và hiệu quả cao trong giải quyết các vấn đề môi trường địa chất nông như: địa chất công trình, thủy văn, trong nghiên cứu sự ô nhiễm môi trường, nghiên cứu khảo cổ và thiên tai trượt lở đất, v.v... Ở CHLB Đức cũng đã sử dụng công nghệ này trong nghiên cứu cấu trúc của đê, đập và các vị trí rò rỉ, thấm lậu qua đê đập.

Ở Việt Nam môi trường địa chất của đê, đập có những đặc thù riêng (đê nằm hai bên các con sông lớn, đất đắp đê chủ yếu là trầm tích có điện trở suất không cao). Mặt khác các đối tượng ẩn họa trong thân đê như tổ mối, lỗ hổng trong thân đê thường có kích thước nhỏ. Bởi vậy, trước khi triển khai các đo đạc bằng công nghệ mới, tập thể các tác giả đã thực hiện các nghiên cứu trên mô hình lý thuyết về khả năng phân giải của các hệ thiết bị đo khác nhau để lựa chọn hệ thiết bị đo tối ưu nhằm phát hiện các dị thường của đối tượng có kích thước nhỏ. Trên cơ sở nghiên cứu hệ thiết bị đo 3 cực của Peschel, 1967 và nghiên cứu phân bố độ nhạy (sensitivity) của các hệ thiết bị đo 3 cực [3-6], các tác giả đã lựa chọn hệ đo 3 cực để thử nghiệm hiện trường. Sơ đồ kỹ thuật đo được thể hiện trong hình 3. Với công nghệ mới, sau khi bố trí các điện cực và nối các cáp với bộ thu phát GMS 150, công tác phát và thu tín hiệu một trạm đo được thực hiện tự động bằng máy PC Pen.

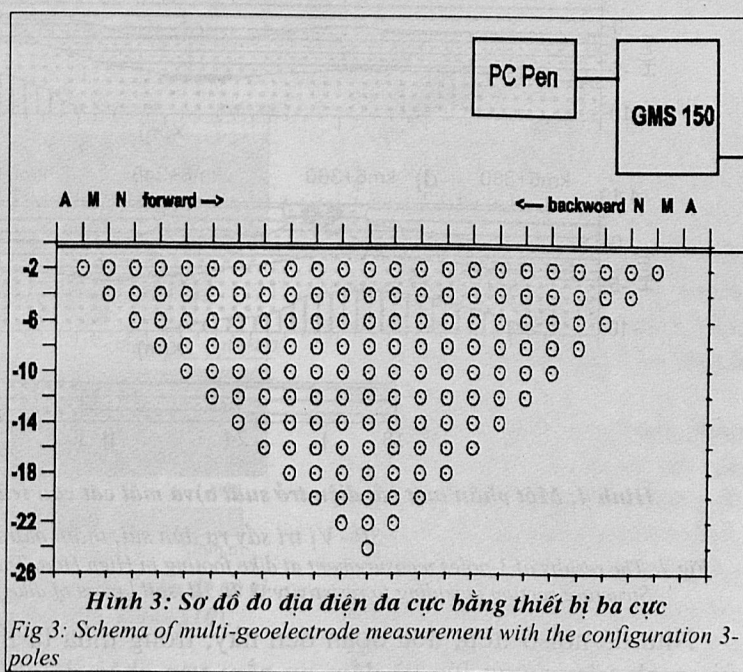
Tên đoạn đê nghiên cứu đã triển khai hai tuyến đo. Tuyến thứ 1 chạy dọc sườn đê phía đông, cách mặt đê 1 m, với mục đích tìm hiểu các dị thường địa điện liên quan đến các tổ mối trong thân đê, khoảng cách các cực là 1m, số điện cực là 25 và 50. Tuyến thứ 2 chạy dọc chân đê phía đông; khoảng cách các cực là 2 m, số điện cực là 25, với mục đích tìm hiểu cấu trúc nền đê và nguyên nhân của hiện tượng thấm lậu, đùn sủi trong các mùa lũ trước đây.

### Phân tích tài liệu

Tài liệu đo đạc đã được phân tích xử lý bằng các phần mềm DC2D và DC3D do các chuyên gia Đức xây dựng và có cải tiến. Đây là phần mềm chuyên dụng phân tích xử lý tài liệu đo địa điện, đã được nhiều cơ sở địa vật lý ở CHLB Đức sử dụng rộng rãi [2, 7-9].

Tại mỗi một trạm đo (tương ứng với một lần đặt 25 hoặc 50 điện cực), số liệu thu được bao gồm 2 tệp: 1 tệp nhận được khi đo hệ cực AnaMnaN  $\rightarrow \infty$  B (forward - đo tiến) và 1 tệp ứng với khi đo NnaMnaA  $\rightarrow \infty$  B (backward - đo lùi),

với a là khoảng cách giữa các điện cực; n = 1, 2, 3, ... là mức đo. Kết quả phân tích bằng các phần mềm DC2DSIRT và DC3D là tập hợp giá trị điện trở suất tương ứng với lưới đo



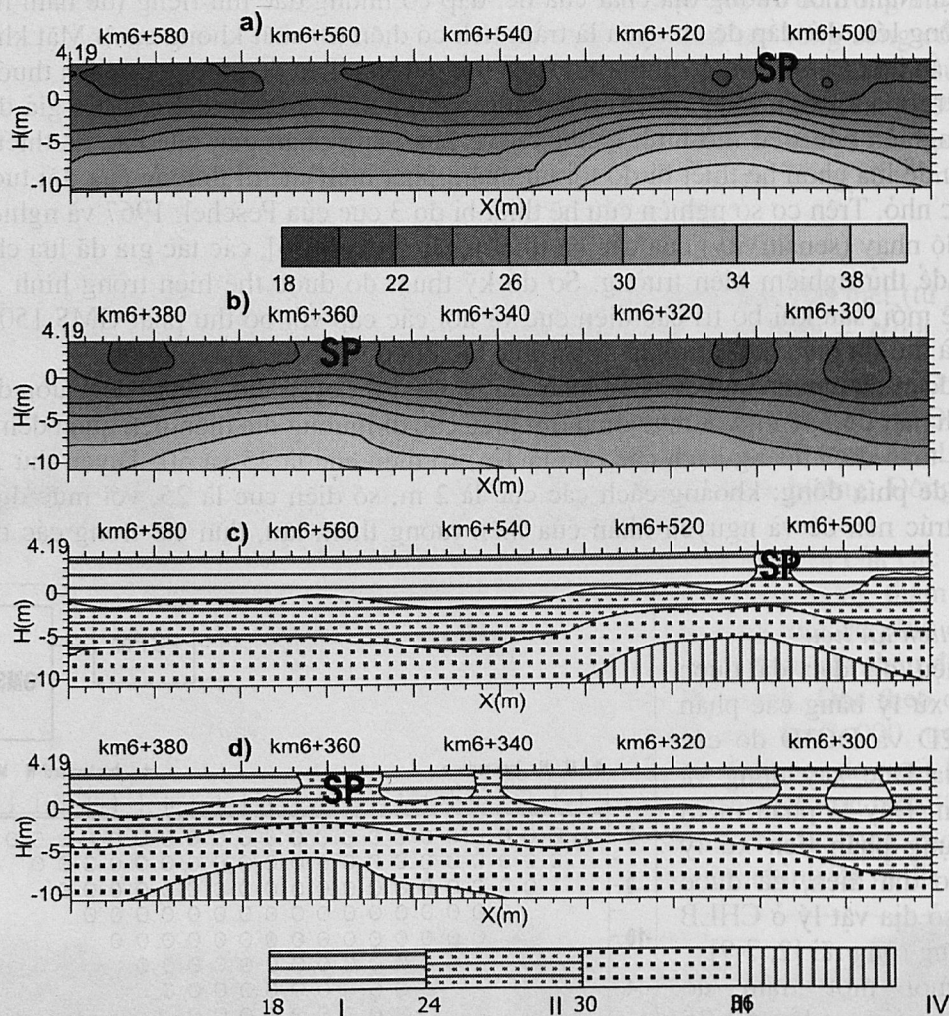
như hình 3, giá trị tại mỗi điểm trên lưới bằng trung bình cộng của 2 lần đo forward và backward tại điểm đó.

## MỘT SỐ KẾT QUẢ

### 1. Xác định các vị trí nền đê xung yếu

Kết quả phân tích tài liệu trên tuyến T2 (từ km6+188 đến km6+888) bao gồm 14 đoạn mặt cắt lớp điện trở suất (MCLĐTS). Các đoạn mặt cắt lớp này phản ánh sự thay đổi điện trở suất (ĐTS) của các loại đất khác nhau cấu thành nền đê cả theo chiều ngang và chiều sâu. Dựa trên đặc điểm phân bố và sự thay đổi giá trị ĐTS trên các bức ảnh MCLĐTS có thể nhận biết được cấu trúc nền đê gồm các lớp 4 lớp, tương ứng với các khoảng giá trị ĐTS là: 18 – 24, 24 – 30, 30 – 36 và 36 – 40  $\Omega\text{m}$ .

Kết hợp với thông tin về địa chất, đã xác định mặt cắt địa tầng của nền đê này bao gồm 4 lớp đất khác nhau. Một số tham số của các lớp được ghi trong bảng 1.



**Hình 4: Một phần mặt cắt điện trở suất a) và mặt cắt cấu trúc b) của nền đê Hiệp Hòa;**

SP - Vị trí xảy ra đùn sủi, thấm mạnh.

Fig 4: The results of 3-poles measurement at dike footing in Hiep Hoa, Thai Binh: a, b) Resistivity section; c,) Structure section according to resistivity; I, II, III soil layers of dike fundament; SP Seepage zone.

Như đã nói ở trên, dọc đoạn đê này, trong mùa lũ thường xuất hiện nhiều điểm đùn sủi mạnh trên ruộng lúa và đầm ao nằm ven chân đê phía đông và thấm nước ở sườn đê phía đông. Từ đặc điểm các lớp đất trong nền đê ở bảng 1 và hình ảnh các MCLĐTS trên đoạn đê này đã có thể giải thích được rằng, nguyên nhân của sự cố đùn sủi, thấm lậu xảy ra



trong các mùa nước lũ trước đây là do tồn tại hai lớp đất nền yếu – lớp III và lớp IV trong nền đê. Một phần của nền đê tồn tại các lớp này được phản ánh trên hình 4.

Lớp III chứa cát pha sét, màu xám, dẻo chảy, tồn tại trong mặt cắt từ km6+290 đến km6+660. Do vậy, khi nước sông lên ngập chân đê thì đã có thể xuất hiện các điểm đùn sủi ở phía đông; khi nước càng lên cao thì cường độ của đùn sủi càng mạnh và sự thấm lậu sườn đê phía đông cũng trở nên mạnh mẽ.

Bảng 1: Đặc trưng phân lớp nền đê theo tài liệu điện

Lớp	Điện trở suất ( $\Omega m$ )	Cao độ (m)	Bề dày (m)	Đặc trưng lớp đất
I	18 – 24	4,19 đến -2,0	6,0	Sét, sét pha, nâu nâu, dẻo
II	24 – 30	0 đến -7,0	7,0	Sét pha, màu nâu, dẻo
III	30 – 36	từ -4 trở xuống	-	Cát pha, màu xám, dẻo chảy
IV	36 – 40	từ -6 trở xuống	-	Cát pha, hạt mịn đến thô, bờ rời

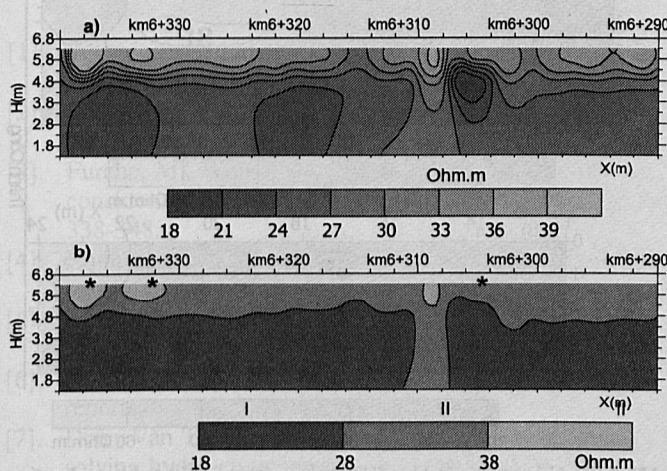
Trên hai đoạn từ km6+340 đến km6+380 và từ km6+480 đến km6+528 tồn tại lớp IV chứa cát pha, bờ rời. Đây là 2 vị trí xuất hiện đùn sủi mạnh nhất trong thời gian nước lũ. Để hạn chế sự cố đùn sủi mạnh khi nước lũ lên cao, các cơ quan quản lý đê đã phải xử lý bằng cách dùng đất lấp đầm ao ở chân đê phía đông.

Như vậy, nguyên nhân của sự xuất hiện đùn sủi mạnh và thấm lậu dọc theo đoạn đê nghiên cứu đã được giải thích do tồn tại lớp III và IV trong nền đê.

## 2. Xác định vị trí các tổ mối trong thân đê

Kết quả phân tích tài liệu trên tuyến đo dọc sườn đê gồm 16 đoạn MCLĐTS của thân đê. Các MCLĐTS này phản ánh sự thay đổi ĐTS của các loại đất khác nhau cấu thành thân đê. Phân tích các ảnh MCLĐTS đã xác định được cấu trúc thân đê gồm hai lớp như sau:

- Lớp thứ nhất: từ cao độ 6,5 – 6,8 m đến cao độ 4,0 – 4,5 m, bề dày lớp khoảng 2,0 đến 2,5 m. ĐTS của đất trong lớp này biến động mạnh, giá trị ĐTS thay đổi từ 28,0 đến 40,0 – 60,0  $\Omega.m$ . Điều này phản ánh tính bất đồng nhất cao của các vật liệu phân trên của thân đê.



Hình 5: a) Mặt cắt điện trở suất; b) Mặt cắt cấu trúc thân đê và vị trí tổ mối dự báo của thân đê Hiệp Hòa (km6+290 km6+310). I, II, III các lớp đất thân đê; \* - vị trí tổ mối.

Fig 5: a) Restivity section; b) Structure section of dike body and prognosticated location of termite nests at Hiep Hoa dike (km 6+290 km6+310); I, II, III soil layer; \* - Termite nest.

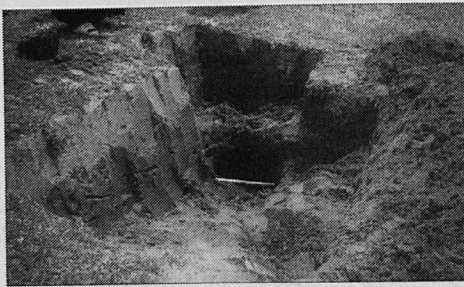
- Lớp thứ hai: từ cao độ 4,0 – 4,5 m đến cao độ 0,5 – 1,0m, bề dày 3,0 – 4,0 m, giá trị ĐTS ít biến động, từ 18,0 đến 28,0-30,0  $\Omega.m$ . Đây là lớp đất sét, sét pha thành phần khá đồng nhất, màu nâu, nâu xám, dẻo cứng, thuộc lớp đất cấu thành thân đê vững.

Hình 5 phản ánh một phần mặt cắt điện trở suất và cấu trúc thân đê Hiệp Hòa đoạn đê từ km6+290m đến km6+310m.

Ở đoạn đê này, trước mùa mưa lũ hàng năm đều đã phải xử lý hàng chục tổ mối. Bởi vậy có cơ sở nhận định rằng, các dị thường ĐTS cao ôm liên quan đến các ẩn họa trong thân

đê, mà chủ yếu do tổ mối và lỗ hổng gây ra.

Trên cơ sở phân tích ảnh mặt cắt địa điện dọc tuyến đê, có thể xây dựng sơ đồ dự báo phân bố ẩn họa tổ mối và lỗ hổng của đoạn này. Sơ đồ này là căn cứ khoa học để các cơ quan quản lý đê có biện pháp xử lý hiệu quả và lâu dài. Trên đoạn đê thử nghiệm đã xác định được 28 vị trí dị thường điện trở suất cao liên quan đến tổ mối và lỗ hổng trong thân đê. Được sự chỉ đạo của Chi cục quản lý đê điều tỉnh Thái Bình, các cán bộ của Đội quản lý đê Vũ Thư đã tiến hành đào kiểm tra 8 dị thường, thì 3 vị trí (km6+248; km6+264 và Km6+331) đã phát hiện được tổ mối và mối chúa. Hình 6a phản ánh tổ mối đã được đào kiểm tra tại km6+264, ngày 8/5/02 và hình 6b là tổ mối được đào tại km6+248, ngày 41/10/02, tại các hố đào còn lại đều liên quan đến các lỗ hổng trong đê.



**Hình 6a: Tổ mối đã được phát hiện bằng dị thường địa điện tại km 6+264.**

Fig 6a: Termite nest has been found by resistivity anomaly at km 6+264.



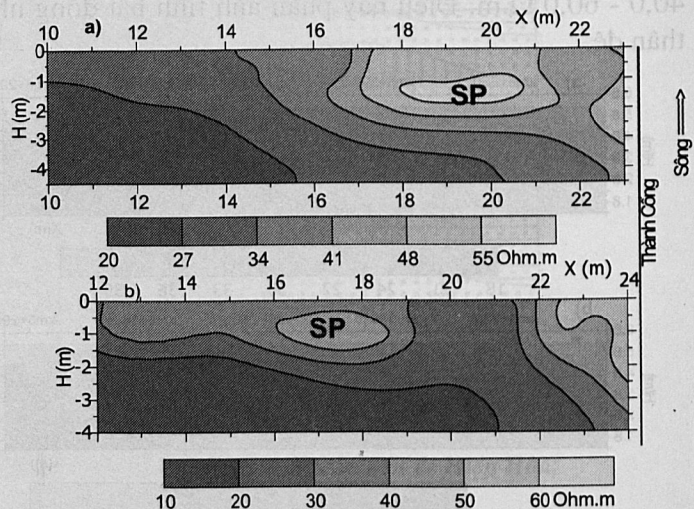
**Hình 6b: Tổ mối đã được phát hiện bằng dị thường địa điện tại km 6+248.**

Fig 6b: Termite nest has been found by resistivity anomaly at km 6+248.

Trong thời gian lũ các năm 1998-2001, khi mà mực nước ở sườn đê phía sông càng lên cao, cách mặt đê 1 đến 2 m, thì sự thấm lậu, chảy nước ở sườn đê phía đông càng tăng. Cơ quan bảo vệ đê tỉnh và xã đã dùng kỹ thuật khơi rãnh thoát nước mái đê để giảm bớt nguy cơ vỡ. Nguyên nhân của chúng liên quan đến các ẩn họa tổ mối và khe nứt nằm trong thân đê, từ mặt đến độ sâu 1,5 đến 2,0 m. Ngoài ra, cần phải tìm hiểu các nguyên nhân khác nữa.

### 3. Vị trí xung yếu ở mang cống tưới tiêu

Trên hệ thống đê của tỉnh Thái Bình còn có hơn 200 cống tưới tiêu phục vụ nông nghiệp và vận chuyển đường thủy. Các cống này được xây dựng cắt ngang thân đê bằng đá, gạch và bê tông chắc chắn. Tuy nhiên trong mùa lũ, tại khu vực tiếp xúc giữa đê và hai bên thành cống thường xuất hiện thấm lậu, rò rỉ gây nguy cơ vỡ đê. Bởi vậy việc phát hiện đối xung yếu của phân đê ở hai phía thành cống để xử lý là vấn đề mới đối với các phương pháp địa vật lý. Để thử nghiệm đối tượng mới này, chúng tôi đã thực hiện đo điện đa cực trên hai tuyến tại mang cống Bén Hiệp, Quỳnh Phụ, Thái Bình. Tuyến 1 nằm ở sườn cống phía đông và tuyến 2 nằm ở sườn cống phía sông, nơi này mùa lũ 2002 xuất hiện rò rỉ mạnh. Hình 6 là các mặt cắt điện



**Hình 7: Các mặt cắt lớp điện trở suất a) và b) tại mang cống Hiệp, Quỳnh Phụ, Thái Bình; SP Vùng gây thấm lậu**

Fig 7: Resistivity section at water inlet sluice in Quỳnh Phụ, Thái Bình;

SP Seepage zone



trở suất trên tuyến phía Sông (hình 6a) và tuyến phía đồng (hình 6b). Hai ảnh mặt cắt địa điện của thân mang cống đều phản ánh sự tồn tại một vùng đất có điện trở suất cao 50-60  $\Omega\text{m}$ , nằm ở độ sâu từ 0,5 đến 2,0-3,0 m và có chiều dài 3-5 m dọc thân đê thuộc mang cống. Ngay cả vị trí sát thành bê tông của cống cũng thể hiện vùng điện trở suất cao. Đối dị thường cao ôm này có lẽ phản ánh đất ở đây có độ rỗng cao và khả năng thấm cao. Do đó khi nước lũ phía sông lên cách mặt đê 1-2 m thì hiện tượng rò rỉ phát triển mạnh. Như vậy kết quả đo địa điện đa cực đã lý giải nguồn gốc của sự thấm lậu mạnh tại mang cống phía trái Cống Hiệp. Vị trí dị thường này sẽ được các cơ quan quản lý đê và quản lý các công trình thủy lợi tỉnh Thái Bình kiểm tra và xử lý trước mùa lũ năm 2003.

## KẾT LUẬN

Kết quả ban đầu thử nghiệm công nghệ địa điện đa cực trong điều kiện Việt Nam đã minh chứng các kết luận sau đây:

- Việc ứng dụng thiết bị và công nghệ địa điện đa cực (TB&CNĐĐC) hoàn toàn có khả năng giải quyết tốt các nhiệm vụ: xác định địa tầng thân và nền đê và phát hiện một số loại ẩn họa trong nền và thân đê; góp phần dự báo ẩn họa và đề đạt các biện pháp xử lý kịp thời trước mùa lũ.

- Việc ứng dụng công nghệ này trong điều kiện địa chất đê của Việt Nam còn rất mới mẻ. Để xây dựng qui trình công nghệ áp dụng rộng rãi và phát huy hiệu quả của phương pháp, cần thiết triển khai tiếp tục nghiên cứu thử nghiệm trên nhiều đối tượng ẩn họa khác nhau cũng như nghiên cứu lựa chọn các tham số đo đạc và tham số phân tích tài liệu tối ưu.

- Hệ TB&CNĐĐC đã và đang được sử dụng rộng rãi ở các nước phát triển. Ở nước ta, khả năng của công nghệ này có thể sử dụng hiệu quả trong các nghiên cứu môi trường, nghiên cứu khảo cổ và trong địa chất công trình.

Các tác giả chân thành cảm ơn cơ quan tài trợ Volkswagen Stiftung, Viện Địa vật lý TU-Clausthal, Viện Địa chất – NCST Hà Nội và các cơ quan quản lý đê điều đã tạo điều kiện để triển khai đề tài hợp tác. Một phần công tác thử nghiệm thực địa đã được hỗ trợ kinh phí của đề tài nghiên cứu cơ bản, các tác giả cảm ơn Ban chủ nhiệm chương trình Cơ bản.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Báo cáo tình hình đê điều tỉnh Thái Bình các năm 1998, 1999, 2000, 2001. Lưu trữ tại Chi cục Phòng chống bão lụt và Quản lý đê điều tỉnh Thái Bình.
- [2]. Barker, R., D., 1992: A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. First break, vol.10, N2.
- [3]. Furche, M., Weller, A., 2002: Sensitivity distributions of different borehole electrode configurations considering a model with a cylindrical coaxial boundary. Geophysical Journal International 149, 338-348.
- [4]. Kampke, A., 1999: Focused imaging of electrical resistivity data in archaeological prospecting. Journal of Applied Geophysics 41, 215-227.
- [5]. Kampke, A., Weller, A., Peschel, G., 1998: Focussing effect of an averaged three-electrode configuration. Proceedings of the IVth Meeting of EEGS – European Section, Barcelona, p. 865-868.
- [6]. Noel, M., 1991: Multielectrode resistivity tomography for imaging archaeology. British archaeological reports.
- [7]. Đoàn Văn Tuyển, Trần Cảnh và Andreas Weller, 2000: The application of electrical tomography for solving hydro-engineering geological problems in Vietnam. Advance in Natural Sciences, vol.1, no3, Hanoi, 100-108.
- [8]. Nguyễn Như Trung, 1999: Quy trình thực địa và phân tích số liệu trong đo sâu điện hai chiều (2D). TC Các KH về TĐ, 21(4), 254-262
- [9]. Xu, B. & Noel, M., 1993: On the completeness of data sets with multielectrode systems for electrical resistivity survey. Geophys. Prospect. 41, 791-801.

### 3-D INVESTIGATION OF DAMS AND DIKES - STRATIFICATION AND DETECTION OF DISTURBED AREAS NEARLY WITHOUT DRILLING

**Volker Patzold and Wolfgang Thiessen**

Ingenieurbüro Dr.-Ing. V. PATZOLD, Kleiberweg 20,  
D-21244 Holm-Seppensen, Germany; [www.Vpconsult.de](http://www.Vpconsult.de)  
email: [Dr.Patzold@vpconsult.de](mailto:Dr.Patzold@vpconsult.de)

#### TÓM TẮT

#### **KHẢO SÁT ĐÊ, ĐẬP BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ BA CHIỀU: PHÂN ĐỊA TẦNG VÀ XÁC ĐỊNH VÙNG THẨM KHÔNG CẦN KHOAN**

Sử dụng hai phương pháp địa vật lý khác nhau: cắt lớp địa điện 2 chiều và chiếu xạ hạt nhân để thu thập thông tin 2 và 3 chiều trong công tác khảo sát đê đập, gần như không phải khoan, xuyên tĩnh (CPT) hay các phương pháp khác. Tổ hợp phương pháp trên đã được sử dụng hiệu quả từ hai năm lại đây cho phép xác định địa tầng thân đê, chỉ ra các đới thấm lậu không cần phải chờ đến mùa nước lũ và các lỗ hổng trong thân đê.

#### ABSTRACT

Using two different geophysical methods - 2-D electrical imaging and nuclear backscatter probes - it is possible to investigate dams and dikes covering 2- and 3-D information nearly without drillings, cone penetration tests (CPT) or other destroying treatments.

The presented method combination, which is used successfully since nearly two years, is able to detect the stratification of the dam body and below and can explore disturbed areas like possible water transition zones without having any water pressure on it. At least cavities can be identified.

#### INTRODUCTION

Dams and dikes must stay short term but extremely high forces. Successful high water protection is only guaranteed, if the stratification and condition of the dam is fully known. Drillings, cone penetration tests (CPT) a.o. obtain difficulties in mapping discrete bodies such as boulders or cavities and do not cover 2- and 3-D information.

The described method can improve the investigation of dams and dikes exceptionally because of:

- Increasing density of survey data allowing 3-D analysis,
- Nearly non-destroying because of only a small number of boreholes or logs to be used for calibration,
- Availability of in situ density and water content data,
- Identification of possible water transition ways through the dams,
- Low cost.

The advantages are obvious.

#### USED METHODS

1. 2-D electrical imaging surveys,
2. Nuclear backscatter probe.

One new development in recent years is the use of 2-D electrical imaging surveys to map areas with moderately complex geology such as dams and dikes. Such surveys are usually carried out using a larger number of electrodes (normally  $\geq 50$ ) connected to a multi-core cable. A laptop microcomputer together with an electronic switching unit is used to automatically select the relevant four electrodes - two for current input, two for voltage output - for each measurement. Fig.1 shows the typical set-up for a 2-D survey. Normally a constant spacing



from 0,5 m to 5 m between adjacent electrodes is used. It is to be noted that as the electrode spacing increases, the resolution of detected bodies decreases while penetration depth increases and vice versa. An electrode spacing of 5 m for example can improve a penetration depth up to 40 m below surface.

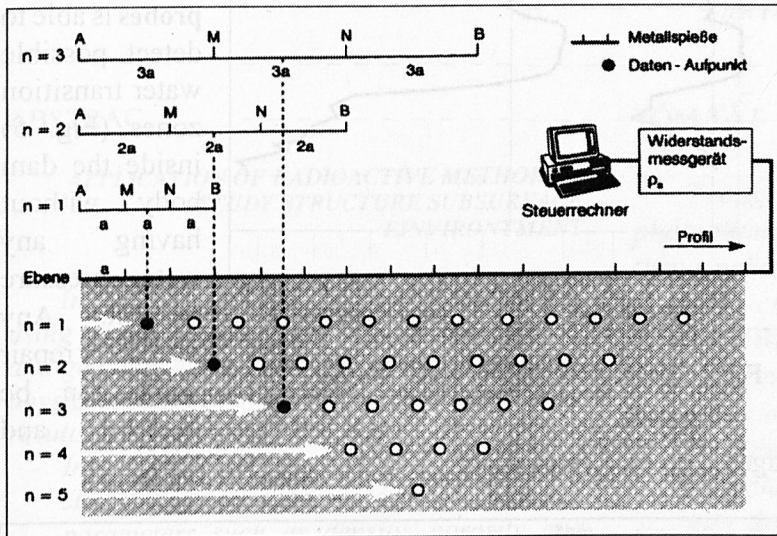


Fig. 1: Arrangement of electrodes for an electrical imaging survey.

#### General rules are valid:

- High resistivity = sandy material
- Low resistivity = clayey - silty material

**Nuclear backscatter probes** (KS) determine in situ density using gamma-gamma probes (Fig. 3) and water content using neutron-neutron probes, working inside a waterproof steel pipe which was driven into the ground before. This method allows to elaborate very precise density profiles, executed in intervals of 10 to 20 cm, related to depth up to 12 m below surface with a possible density interval from 1,0 t/m<sup>3</sup> up to ca. 2,2 t/m<sup>3</sup>.

The results of the in situ density surveys as well as those of in situ water content allow the detection of zones with extraordinary low in situ densities below 1.5 t/m<sup>3</sup> in the vicinity of a locker as shown in figure 4. At least cavities can be identified

The orientation of electrical imaging surveys is normally parallel or perpendicular to the dam orientation. Because of the light weighted flexible equipment areas of difficult access can be investigated too.

The interpretation of calibrated electrical imaging surveys using only view drilling sites results in the stratification of the dam and underneath (Fig. 2) and can identify disturbed areas like a potential weakening.

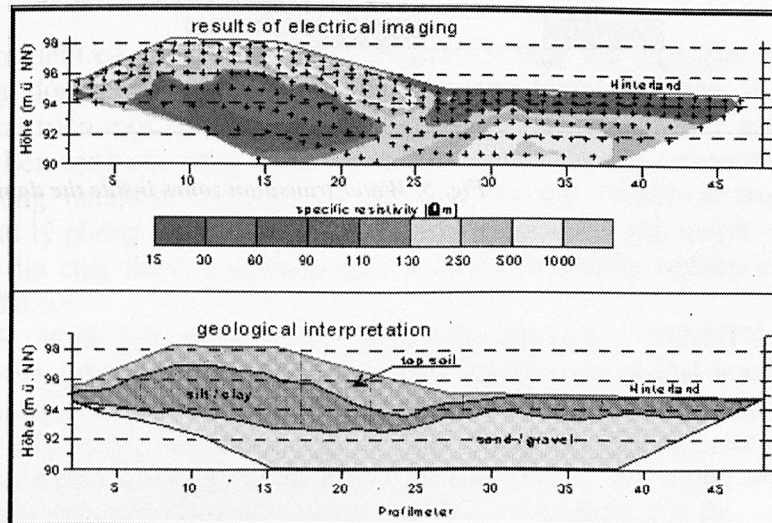


Fig. 2: Imaging results and geological interpretation of a section crossing a dike.

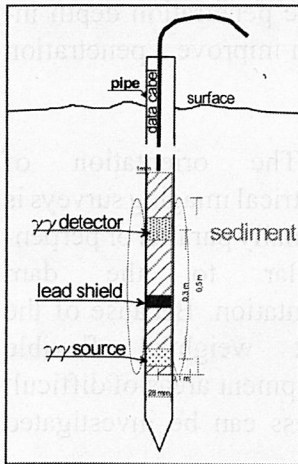


Fig. 3: Used nuclear backscatter probe.

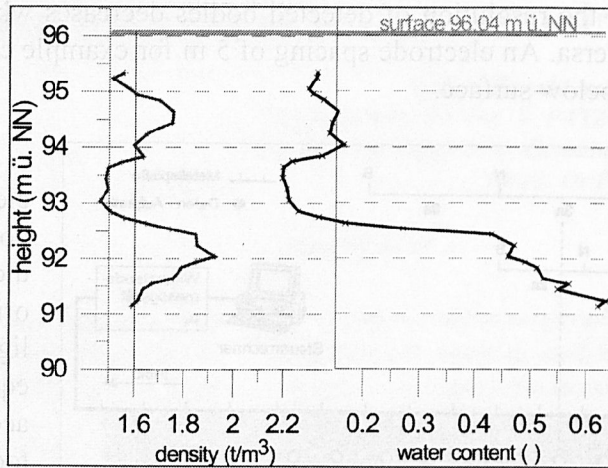


Fig. 4: In situ density and water content

The combination of electrical imaging surveys and backscatter probes is able to detect possible water transition zones (Fig. 5) inside the dam body without having any water pressure on it. Any necessary repair work can be planned and

executed in time to avoid damages with next high water.

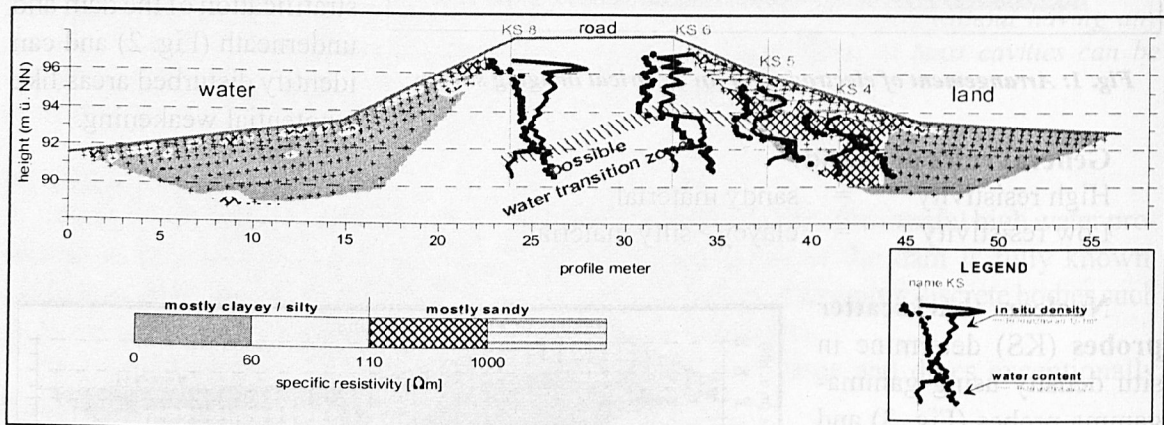


Fig. 5: Water transition zones inside the dam body.



## ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHÓNG XẠ NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC MÔI TRƯỜNG GẦN MẶT ĐẤT

Trần Cảnh

Viện Địa chất, TTKHTN & CNQG, Hà Nội,

Email: canh.tran@fpt.vn

### ABSTRACT

#### APPLICATION OF RADIOACTIVE METHOD TO STUDY STRUCTURE SUBSURFACE ENVIRONMENT

*In the last years the radioactive method has using widely to solve problems of environment and geological engineering. The report presents physical basements of the method and some results used following branches:*

- Investigation of structure and lithological stratigraphy of dike; to estimate physical parameters such as density, porosity and humidity of dike soil;
- Investigation of building fundament and to estimate geotechnical parameters for engineering designs.
- Locating some hidden defects at water inlet sluice in agriculture.

### TÓM TẮT

*Trong những năm gần đây, phương pháp phóng xạ đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu môi trường và khảo sát địa chất công trình. Trong báo cáo, tác giả giới thiệu cơ sở vật lý của phương pháp và một số kết quả thử nghiệm ứng dụng trên một số đối tượng sau đây:*

- Nghiên cứu cấu trúc và xác định địa tầng thân và nền đê; xác định tham số mật độ, độ rỗng và độ thấm các lớp đất trong thân đê;
- Khảo sát nền móng các công trình xây dựng và xác định các tham số địa kỹ thuật phục vụ thiết kế công trình.
- Xác định vị trí một số ẩn họa ở công trình tưới tiêu nông nghiệp.

### MỞ ĐẦU

Nhu cầu thăm dò và tìm kiếm các đối tượng nằm trong môi trường địa chất gần mặt đất, nơi mà tới 90 % các hoạt động công nghiệp và dân sinh của con người tác động, là cơ sở cho hướng nghiên cứu phát triển một số công nghệ địa vật lý nghiên cứu cấu trúc nông từ vài chục năm trở lại đây. Bên cạnh các công nghệ Ra đa xuyên đất (Ground penetrating radar – GPR), địa chấn nông (shallow seismic) và địa điện đa cực (multi-electrode geoelectric) thì kỹ thuật địa vật lý phóng xạ cũng được sử dụng rộng rãi trong giải quyết các vấn đề địa chất công trình, địa chất thủy văn, trong nghiên cứu môi trường, nghiên cứu khảo cổ và thiên tai trượt lở đất v.v.

Thông qua triển khai các đề tài hợp tác khoa học giữa Viện địa chất – TTKHTN & CNQG Việt Nam và các cơ sở nghiên cứu GGD Leipzig và Viện Địa vật lý Đại học kỹ thuật Clausthal (CHLB Đức), được sự tài trợ của quỹ Volkswagen Stiftung, phương pháp và thiết bị đo phóng xạ đã được ứng dụng ở Việt Nam từ năm 1995. Trong báo cáo này, tác giả giới thiệu một số kết quả thử nghiệm ứng dụng kỹ thuật này trên một số đối tượng như: nghiên cứu cấu trúc của đê, cấu trúc nền móng công trình, phát hiện vị trí thấm của đê...

### CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA PHƯƠNG PHÁP

Phương pháp phóng xạ để xác định mật độ, độ rỗng và độ ngậm nước của đất đá dựa trên hiện tượng suy giảm cường độ bức xạ gamma và neutron khi tương tác với vật chất môi trường mà chúng truyền qua [1, 4, 5]. Khi chiếu chùm lượng tử gamma ( $\gamma$ ) vào môi trường, thì quá trình tương tác của chúng với nguyên tử vật chất sẽ làm giảm cường độ của chúng. Đó là do sự hấp thụ tia phóng xạ của vật chất. Sự hấp thụ tia  $\gamma$  của chất hấp thụ (môi trường

đất đá) phụ thuộc chủ yếu hai đại lượng: năng lượng của lượng tử gamma và số thứ tự của nguyên tử chất hấp thụ [4].

Trong quá trình tương tác với môi trường, sự suy giảm cường độ chùm tia  $\gamma$  phụ thuộc vào cường độ nguồn phát và mật độ vật chất, được xác định theo biểu thức:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

với:  $I_x$  là cường độ chùm tia khi xuyên vào vật chất,  $I_0$  - cường độ ban đầu,  $\mu$  - hệ số hấp thụ toàn phần và  $x$  - đoạn đường truyền.

Các nguồn phóng xạ được dùng chủ yếu là nguồn  $^{60}\text{Co}$  có thời gian bán phân rã 5,24 năm,  $E_\gamma = 1,17 - 1,33$  Mev và  $^{137}\text{Cs}$  có thời gian bán phân rã 27 năm,  $E_\gamma = 0,662$  Mev. Tuy nhiên trong nghiên cứu địa vật lý gần mặt đất, thường sử dụng các nguồn có mức năng lượng  $E_\gamma$  từ 0,3 đến 1,6 Mev. Với mức năng lượng này, sự suy giảm cường độ chùm gamma được xác định bằng biểu thức:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\sigma x} \quad (2)$$

với:  $\sigma = \sigma_0 NZ / A\rho \cong \alpha\rho$ ,  $\rho_0$  - tiết diện tán xạ,  $N$  - số Avogadro,  $\rho$  - mật độ chất hấp thụ và  $A$  là trọng lượng nguyên tử. ở hầu hết các loại đất đá, tỷ số  $Z/A \approx 0,5$  [3]. Biểu thức (2) sẽ là:

$$I_x = I_0 e^{-\sigma/2\rho x} \quad (3)$$

(3) là biểu thức xác định mật độ của đất đá bằng phương pháp đo phóng xạ gamma.

Quá trình tương tác của tia phóng xạ neutron ( $n$ ) đã được sử dụng để xác định hàm lượng nước chứa trong lỗ hổng của đất đá ở thể nằm tự nhiên. Vì các tia  $n$  không mang điện tích nên chúng tương tác trực tiếp với hạt nhân của các phân tử nước chứa trong lỗ hổng của đất đá. Bởi vậy, dòng lượng tử  $n$  thu được sau quá trình tương tác sẽ phản ánh mật độ chất lỏng chứa trong lỗ hổng ở đất đá. Hàm lượng nước sẽ được xác định theo mối quan hệ sau:

$$w_n = \rho/\rho_k - 1 \quad (4)$$

ở đây  $\rho$  là mật độ thực tế,  $\rho_k$  - mật độ đất đá khô,  $w_n$  - hàm lượng nước ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Các biểu thức (3) và (4) là cơ sở để tính toán mật độ, độ rỗng và hàm lượng nước của đất đá ở trạng thái tự nhiên bằng phương pháp xuyên đo phóng xạ  $\gamma$ - $\gamma$  và  $n$ - $n$ .

## THIẾT BỊ KỸ THUẬT

Hệ thiết bị kỹ thuật đo địa vật lý phóng xạ của Viện Địa chất (TTKHTN&CNQG) do cơ quan Volkswagen Stiftung tài trợ (1995-1996); được sản xuất tại Đức [2]. Bộ thiết bị gồm các bộ phận:

- Nguồn phát tia  $\gamma$  và  $n$  là Am-241/Be, 3,2 GBq và Cs-137, 788 MBq;
- Hai cực đo  $\phi = 22\text{mm}$  tương ứng Sonde S23 và S24;
- Máy ghi số DZ-5 để thu tín hiệu và lưu trữ số liệu;
- Các thiết bị phụ trợ gồm: máy xuyên thủy lực để đưa ống thép  $\phi = 28\text{mm}$  xuống độ sâu cần khảo sát và thiết bị chuẩn máy đo;
- Phần mềm phân tích tài liệu.

Kỹ thuật đo gồm các bước sau:

- Chuẩn bị vị trí khảo sát - thông thường được xác định trên cơ sở thông tin địa chất và địa điện;
- Đưa ống thép xuống độ sâu cần thiết bằng máy đập thủy lực (trong quá trình đập ống thép xuống, thường đo địa điện 1 cực với khoảng đo từ 10 đến 20 cm để xem xét biến đổi của điện trở đất dọc lỗ xuyên);



- Lần lượt thực hiện các phép đo với khoảng cách từ 10 đến 20 cm bằng các cực đo gamma-gamma (S23) và notron-notron (S24); Các số đo được ghi vào máy theo chế độ bán tự động.

Kết quả đo sẽ được xử lý bằng phần mềm trên máy tính để nhận được các giá trị và biểu đồ biến đổi của các tham số: điện trở suất, mật độ, độ rỗng, độ ẩm độ ngậm nước của các lớp đất dọc lỗ xuyên. Từ các tham số này có thể tính toán được một số tham số khác phục vụ thiết kế công trình.

## MỘT SỐ KẾT QUẢ

Dưới đây giới thiệu một số kết quả ứng dụng phương pháp nói trên giải quyết một số nhiệm vụ thực tế trong một số lĩnh vực như khảo sát cấu trúc đê và địa chất công trình

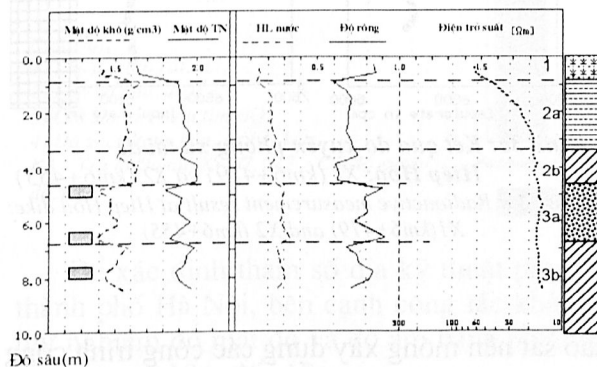
### 1. Nghiên cứu cấu trúc thân và nền đê.

Mục tiêu của đo phóng xạ trên Đê Thanh Trì, Hà Nội (3/1995) là xác định đặc điểm phân lớp của cấu trúc thân đê theo các tham số địa vật lý: mật độ, độ rỗng, độ ẩm và điện trở. Từ đó phát hiện các vị trí xung yếu trong thân đê. Tại đê Thanh Trì đã thực hiện 3 điểm xuyên đo phóng xạ gammam-gamma; notron-notron và điện trở suất (ở km78+304, km78+325 và km78+356). Kết quả phân tích các đường cong tham số địa vật lý đã xác định được rằng cấu trúc của đoạn đê nghiên cứu (dài 60m) có các lớp đất như trên bảng 1. Hình 1 là kết quả phân tích của điểm đo tại km78+304.

Bảng 1: Đặc điểm các lớp đất đê Thanh Trì Hà Nội

Số TT lớp	Độ sâu mép dưới	Mật độ(g/cm <sup>3</sup> )	Độ ẩm (%)	Độ rỗng (%)	Điện trở suất (Ω.m)	Loại đất
1	0,90	1,45	0,15	0,8	60-70	Đất trồng(sét pha)
2a	3,40	1,60	0,20	0,7	20-50	sét, nâu, dẻo
2b	4,70	1,70	0,21	0,6	15-20	sét pha, xám, dẻo
3a	6,80	1,50	0,30	0,8	15-20	sét loang lổ, cát
3b	-	1,50	0,30	0,8	15-20	cát pha, sét, ẩm

Hình 1: Kết quả đo xuyên phóng xạ tại đê Thanh Trì Hà Nội tại Km78+304 (tham số các lớp đất theo bảng 1)  
Fig. 1: Radioactive measurement result at dike Thanh Trì Hanoi, km 78+304



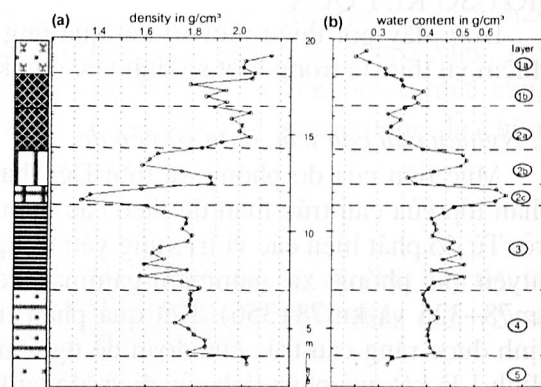
Trên hình 1, theo các đường cong tham số vật lý của đất đá còn nhận thấy thân đê tồn tại một số lớp mỏng có thể chứa vật liệu hữu cơ ở các độ sâu 4,8; 6,6 và 7,8 m – giá trị mật độ thấp và độ rỗng cao. Các lớp này dễ gây trượt lở và thấm lậu khi nước lũ lên cao trong thời gian dài.

Với nhiệm vụ nghiên cứu cấu trúc thân đê và xác định vị trí thấm và xử lý trên 1 đoạn đê Ba Vì (gần Hà Nội), các phương pháp địa vật lý (đo sâu điện Wenner B, đo  $\gamma$ - $\gamma$ ,  $n$ - $n$ ) [3] và địa kỹ thuật được phối hợp. Hình 2 phản ánh cấu trúc thân đê Ba Vì tại km7+500m gồm 5 lớp đất khác nhau. Dựa vào sự thay đổi của giá trị mật độ và độ chứa nước, lại có thể nhận biết được các phân lớp trong hai lớp gần mặt đất (ở độ sâu từ 0,0 m đến 9,0 m) (xem bảng 2).

Hai phân lớp 2b và 2c có mật độ thấp – 1,4 đến 1,7 g/cm<sup>3</sup> và hàm lượng nước cao: 0,45 đến 0,65, chứa sét pha màu đen và vật liệu hữu cơ. Sự có mặt của hai lớp này trong mặt cắt minh giải nguyên nhân gây thấm lậu và đùn sủi mạnh trong mùa lũ. Để khắc phục hiện tượng đùn sủi mạnh này, cơ quan quản lý đê đã cho xây dựng các giếng giảm áp. Sau khi xử lý bằng các giếng giảm áp, đã khắc phục được hiện tượng đùn sủi ảnh hưởng đến sự an toàn của đê.

Bảng 2: Đặc điểm các lớp đất thân đê Ba Vì (km7+500)

Lớp đất	Độ sâu trên (m)	Bề dày (m)	Loại đất
1a	1,8	1,8	sét pha, sạn
1b	3,5	1,7	sét, nâu, cát pha
2a	5,9	2,4	sét pha, cát pha
2b	7,6	1,7	cát pha, đen, mùn
2c	8,7	1,1	cát pha, mùn
3	13,0	4,3	sét pha cát, vàng
4	16,2	3,2	cát pha, màu đen
5	>20	> 5	cát mịn, sỏi



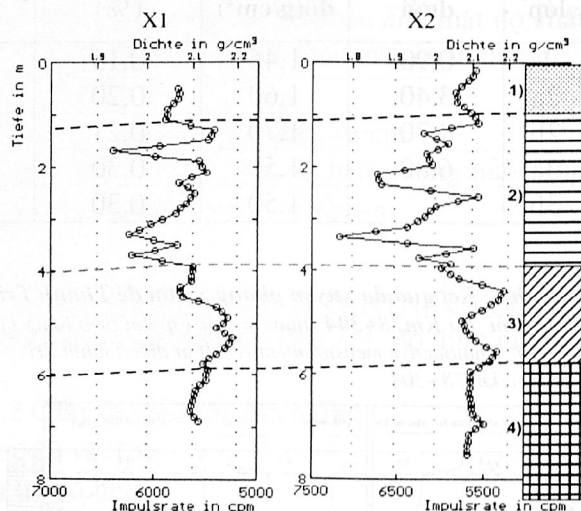
Hình 2: Kết quả đo phóng xạ tại đê Ba Vì, km7,5

Fig.2: Radioactive measurement result at dike Ba Vi Hanoi, km7,5

Để tìm hiểu cấu trúc thân và nền đê Hiệp Hoà, tỉnh Thái Bình, công tác xuyên gamma-gamma đã thực hiện tại 4 điểm trên mặt đê và 3 điểm trên cơ đê.

Trên hình 3a có thể thấy rằng cấu trúc thân đê khá phức tạp. Lớp đất của thân đê từ mặt đê xuống đến độ sâu 6 m có tính bất đồng nhất cao, giá trị mật độ dao động mạnh (từ 1,92 đến 2,20 g/cm<sup>3</sup>). Theo đặc điểm đường cong mật độ, cấu trúc thân đê bao gồm 4 lớp khác nhau tương ứng với giá trị mật độ là 2,05; 1,95 - 2,12; 2,18 - 2,20 và 2,10 - 2,12 g/cm<sup>3</sup>. Trong đó mật độ của lớp (2) dao động mạnh.

So sánh kết quả đo mật độ với mặt cắt lỗ khoan địa chất gần khu vực nghiên cứu (hình 3b), có thể thấy rằng, tài liệu đo mật độ cho biết cấu trúc thân đê chi tiết hơn. Đường cong mật độ tại vị trí chân đê cho biết ranh giới giữa lớp (1) và lớp (2) theo tài liệu khoan địa chất là khá phù hợp.



Hình 3a: Kết quả đo xuyên phóng xạ tại đê Hiệp Hoà: X1 (km6+479) và X2 (km6+455)

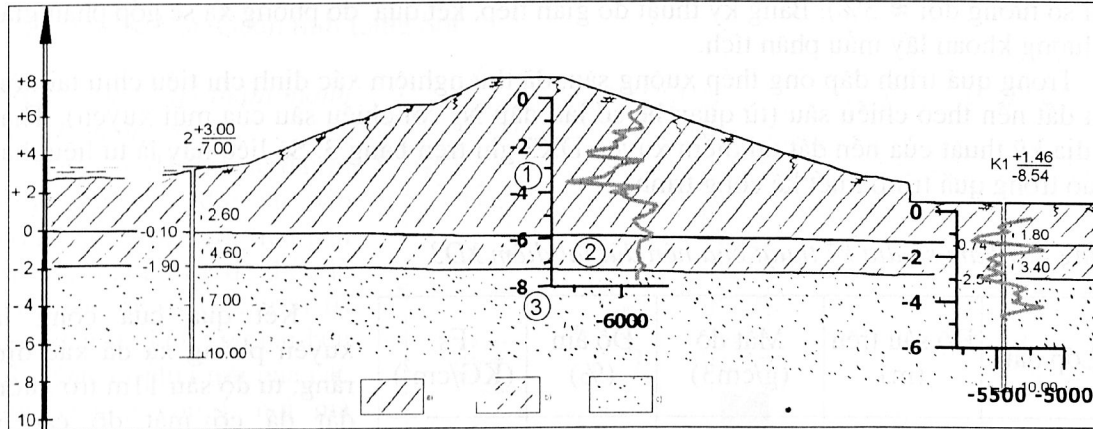
Fig. 3a: Radioactive measurement result at Hiep Hoa dike: X1(km6+479) and X2 (km6+455)

## 2. Xác định cấu trúc nền móng công trình

Những năm gần đây nhu cầu công tác khảo sát nền móng xây dựng các công trình công nghiệp và dân dụng ở Việt Nam ngày càng tăng, phương pháp đo xuyên phóng xạ cũng đã được thử nghiệm với mục đích xác định địa tầng đất nền móng và một số tham số địa vật lý của đất nền.



Phối hợp với các khảo sát địa chất công trình tại Thái Nguyên, đã tiến hành đo gamma-gamma tại 6 điểm. Kết quả đo mật độ và độ ẩm cho phép xác định ranh giới các lớp đất nền. Các giá trị mật độ nhận được từ công tác xuyên phóng xạ khá phù hợp với tài liệu phân tích mẫu khoan. Ở đây dự kiến khoan 12 lỗ, nhưng khi khảo sát phối hợp thì chỉ cần thực hiện 6 lỗ khoan mẫu.



Hình 3b: Mặt cắt địa chất và đường cong gamma-gamma tại đê Hiệp Hòa Thái Bình, km 6+479

Fig. 3b: Stratigraphy cross section and gamma-gamma diagram at dike Hiep Hoa, km 6+479

Hình 4 là mặt cắt nền móng công trình tại thành phố Thái Nguyên, được xác định bằng khoan (LK3) và các lỗ xuyên X5, X7 và X12. Mặt cắt này gồm các lớp sau: Lớp 1 - đất lấp, sét pha, sạn sỏi, dày 0,9 – 2,8m, mật độ 1,72 - 2,0 g/cm<sup>3</sup>; Lớp 2 – sét pha, sạn dăm, dày 1,7 – 2,2 m, mật độ 2,05 – 2,10 g/cm<sup>3</sup>. Lớp 3 – sạn kết, sét pha, dày ≈ 1,8 m, mật độ không ổn định 1,80 đến 2,25 g/cm<sup>3</sup>. Lớp 4 - đá gốc lục nguyên, từ 4,5 m trở xuống, mật độ ổn định 2,25 - 2,30 g/cm<sup>3</sup>. Từ kết quả khảo sát đã dự kiến đặt cọc móng công trình tối ưu là đặt trong lớp 4, trong khoảng sâu 4,5 đến 14,5 m.

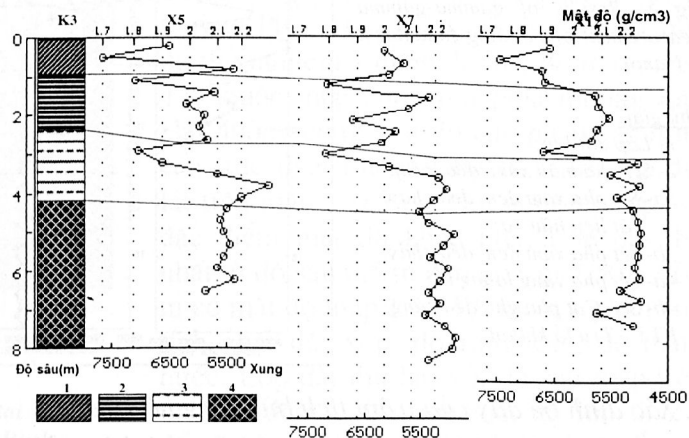
Hình 4: Mặt cắt địa vật lý nền móng công trình tại thành phố Thái Nguyên.

Fig. 4: Geophysical section of building fundament in Thai Nguyen town.

Chú giải:

- 1) Lớp đất lấp cát, sỏi;
- 2) Lớp sét pha, dQ;
- 3) Đất sạn, sét màu tím elQ;
- 4) Đá gốc phong hóa, sét bột kết;

K3 – Trụ lỗ khoan; X5, X7, X12 – Các lỗ xuyên đo  $\gamma\gamma$



Để xác định tham số địa kỹ thuật phục vụ cho thiết kế một nhà cao tầng ở trung tâm thành phố Hà Nội, bên cạnh công tác khảo sát địa chất công trình với khối lượng lớn, đã thử nghiệm đo mật độ và độ ẩm bằng phương pháp phóng xạ tại 6 điểm xuyên, độ sâu các lỗ xuyên từ 10m đến 18m.

Hình 5 là kết quả đo mật độ trên mặt cắt AB thuộc khu công trình. Mặt cắt nền móng công trình từ 0,0 m đến độ sâu 15,0 m bao gồm 4 lớp: lớp 1 từ 0 m đến 2,2 – 3,2 m; mật độ từ 1,85 đến 2,10 g/cm<sup>3</sup>. Lớp 2 từ sâu 2,0 m đến 5,2 – 6,2 m, mật độ khá ổn định 1,95 – 2,05 g/cm<sup>3</sup>. Lớp 3 ở độ sâu từ 5,3 m đến 11,2 - 12,0 m, gồm 2 lớp với mật độ là 1,72 và

1,82 g/cm<sup>3</sup>. Lỗ xuyên DX3 sâu 18 m, bắt gặp lớp 4 ở độ sâu 11,2 m, mật độ 2,08 - 2,01 g/cm<sup>3</sup>. So sánh với tài liệu khoan mẫu tại lỗ khoan KT3 – ranh giới các lớp tương ứng là 3,2; 5,9 và 10,0 m và điểm xuyên XD3 với ranh giới lớp tương ứng là 2,8; 5,3 và 11,2 m thì có thể nói rằng kết quả khá phù hợp. Giá trị mật độ trung bình của các lớp theo phân tích mẫu khoan là: 1,80 - 1,85 ; 1,95; 1,69 và 1,96 g/cm<sup>3</sup> còn theo đo gamma là: 1,82; 1,96; 1,64 và 2,1 g/cm<sup>3</sup>. Như vậy các kết quả đo gamma-gamma và phân tích mẫu là khá phù hợp (sai số tương đối  $\approx 3\%$ ). Bằng kỹ thuật đo gián tiếp, kết quả đo phóng xạ sẽ góp phần giảm số lượng khoan lấy mẫu phân tích.

Trong quá trình đập ống thép xuống sâu, đã thử nghiệm xác định chỉ tiêu chịu tải động của đất nền theo chiều sâu (từ quan hệ số lần đập  $N_d$  với chiều sâu của mũi xuyên). Tham số địa kỹ thuật của nền đất tại điểm xuyên DX3 ghi trên bảng 3. Số liệu này là tư liệu tham khảo trong quá trình thiết kế công trình.

**Bảng 3: Tham số địa kỹ thuật của nền đất tại điểm XD3**

Lớp đất	Độ sâu trên (m)	Mật độ (g/cm <sup>3</sup> )	Độ ẩm (%)	Fs (KG/cm <sup>2</sup> )
Lớp 1	1,70	1,80-1,85	25	0,39
Lớp 2	5,20	1,96	32	0,52
Lớp 3a	7,70	1,45-1,60	47	1,57
Lớp 3b	11,80	1,87	35	2,26
Lớp 4a	14,60	2,10	20	3,84
Lớp 4b	> 15,0	2,15	20	3,84

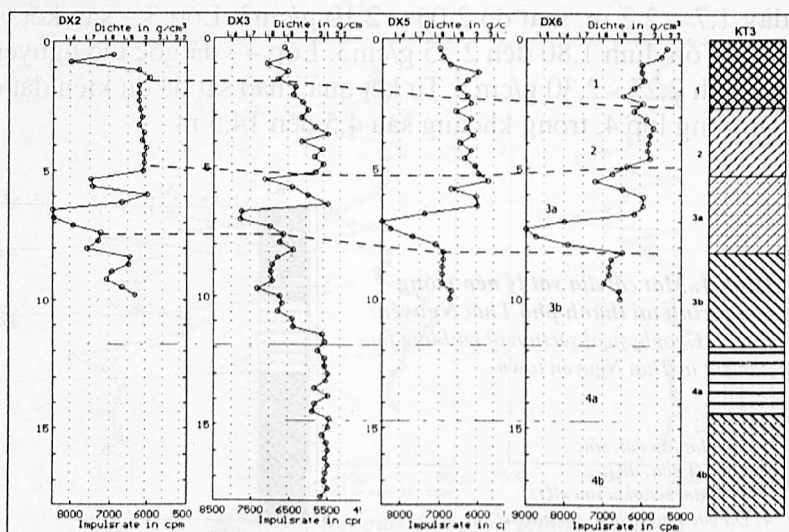
Kết quả của công tác xuyên phóng xạ đã xác định rằng, từ độ sâu 11m trở xuống đất đá có mật độ cao và kháng lực tốt; từ độ sâu 18-20 m trở xuống là lớp cát hạt trung, bề dày lớn sẽ là lớp có tính chịu tải cao và ổn định, vì vậy đáy cọc móng cần phải đặt vào lớp này.

**Hình 5: Kết quả đo gamma-gamma mặt cắt AB nền móng công trình tại Hà Nội**

Fig 5: Results of gamma-gamma measurement of building fundament in Hanoi.

Chú giải:

- 1- Lớp đất lấp;
- 2- Sét pha màu xám, dẻo mềm;
- 3a- Sét pha xám đen, dẻo chảy, vật liệu hữu cơ;
- 3b- Sét pha xám đen, dẻo chảy;
- 4a- Sét pha vàng loang lổ;
- 4b- Sét, Cát pha ghi, dẻo cứng;
- KT3 – Trụ lỗ khoan



### 3. Xác định bề dày của trầm tích bùn lòng hồ và sông

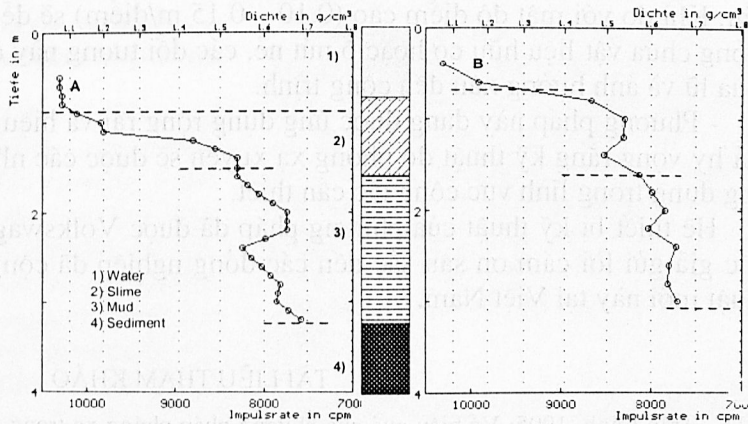
Ở Việt Nam, hàng năm, nhu cầu nạo vét bùn của các lòng sông phục vụ vận tải đường thủy và nhu cầu nạo vét bùn của các hồ chứa nước để tăng khả năng chứa của hồ là khá lớn. Một bài toán đặt ra là sử dụng tổ hợp các phương pháp địa vật lý khảo sát để có tư liệu đánh giá được tổng khối lượng trầm tích bùn cát trên đoạn sông hay trong hồ cần nghiên cứu với mục đích lập phương án tối ưu nạo vét chúng. Để giải bài toán này, có thể kết hợp kỹ thuật đo sâu điện và đo xuyên phóng xạ gamma-gamma. Thử nghiệm đầu tiên xác định bề dày của lớp trầm tích bùn loãng và bùn đặc đã được triển khai trên một hồ chứa nước của trạm thủy điện nhỏ tại huyện Văn Quán tỉnh Lạng Sơn. Hình 6 là kết quả minh chứng khả năng



dùng kỹ thuật đo gamma-gamma góp phần giải quyết nhiệm vụ trên. Từ đường cong mật độ đã phân biệt khá rõ các ranh giới nước-bùn loãng; bùn loãng-bùn đặc, bùn đặc và trầm tích rắn của đáy hồ nước – hình 6. Kết quả đo mật độ tại 6 vị trí khác nhau của hồ đã xác định được mật độ của lớp bùn đặc có giá trị từ 1,60 đến 1,70 g/cm<sup>3</sup>; mật độ của bùn loãng từ 1,20 đến 1,55 g/cm<sup>3</sup>. Các tài liệu đo mật độ cùng với tài liệu đo sâu điện đã là cơ sở để xác định khối lượng bùn cần phải nạo vét, phục vụ công tác thiết kế xây dựng cải tạo khu hồ chứa nước Văn Quán tỉnh Lạng Sơn.

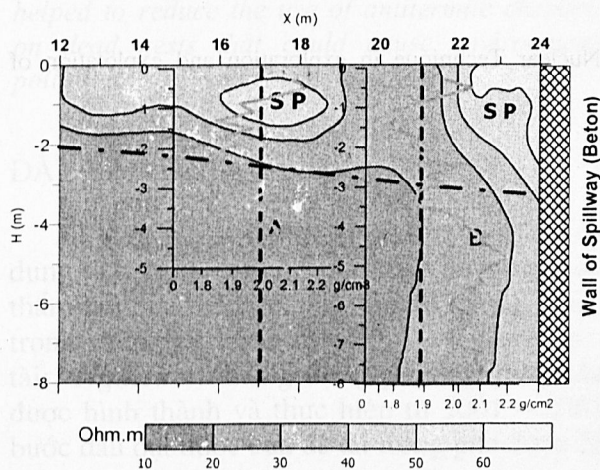
#### 4. Xác định vị trí thấm mạnh của các mang cống

Một vấn đề thực tế đặt ra trong công tác duy tu bảo dưỡng các cống tưới tiêu gần liền với mạng lưới đê điều là phát hiện và xử lý các vị trí xung yếu tại khu vực hai bên phía phải và phía trái của các công (mang cống), nơi mà trong thời gian nước lũ thường bị rò rỉ, thấm lậu mạnh dễ gây nguy cơ vỡ đê, trôi cống. Hệ thống đê của tỉnh Thái Bình có trên 200 cống lớn nhỏ. Bài toán đặt ra là các kỹ thuật địa vật lý được sử dụng như thế nào để phát hiện và xử lý các vị trí loại ảnh hưởng mới này trước thời gian lũ hàng năm.



Hình 6: Kết quả đo mật độ tại điểm 4 và điểm 5 của hồ chứa nước Văn Quán, Lạng Sơn.

Fig. 6: Density measurement results at point 4 and 5 of water reservoir in Van Quan, Lang Son.



Hình 7: Kết quả đo điện và đo mật độ tại Công Hiệp, Quỳnh Phụ Thái Bình

Fig. 7: Results of geoelectric and density measurements at water inlet sluice Hiep in Quynh Phu, Thai Binh.

cao cách mặt đê  $\approx 1 - 2$  m trong mùa lũ vừa qua (7/2002) được giải thích rõ ràng là do lớp đất thứ nhất gây ra, mà trên mặt đã bị phủ lớp đá khó phát hiện bằng mắt thường. Kết quả đo sâu điện trên tuyến T1 này cho chúng ta hình ảnh rõ nét vị trí có khả năng gây ra thấm mạnh nhất (vị trí SP - điểm 16 - 19 và 22 - 24).

## KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép khẳng định rằng:

- Phương pháp và thiết bị đo phóng xạ hoàn toàn có thể ứng dụng hiệu quả trong điều kiện Việt Nam.

- Những tham số: mật độ, độ rỗng và độ ngậm nước được xác định bằng kỹ thuật này hoàn toàn đảm bảo độ chính xác để phục vụ thiết kế công trình.

- Việc liên kết các biểu đồ đường cong tham số địa vật lý cho phép xác định ranh giới địa tầng trong cấu trúc của thân và nền đê cũng như của các mặt cắt địa kỹ thuật cần nghiên cứu. Khi đo với mật độ điểm cao (0,10 – 0,15 m/điểm) sẽ dễ dàng phát hiện các lớp đất mỏng chứa vật liệu hữu cơ hoặc ổ nứt nẻ, các đối tượng này dễ gây nguy hiểm cho đê trong mùa lũ và ảnh hưởng xấu đến công trình.

- Phương pháp này đang được ứng dụng rộng rãi và hiệu quả ở các nước phát triển. Tác giả hy vọng rằng kỹ thuật đo phóng xạ xuyên sẽ được các nhà địa chất, địa vật lý quan tâm ứng dụng trong lĩnh vực công tác cần thiết.

Hệ thiết bị kỹ thuật của phương pháp đã được Volkswagen Stiftung (Germany) tài trợ. Tác giả gửi lời cảm ơn sâu sắc đến các đồng nghiệp đã cộng tác triển khai thử nghiệm kỹ thuật mới này tại Việt Nam.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Cảnh, 1995: Về hiệu quả của phương pháp phóng xạ trong địa chất công trình. Tạp chí Các KH về TĐ, 17(1), 3, 1-8.
- [2]. Trần Cảnh, A. Weller, 1995: Áp dụng phương pháp địa vật lý nghiên cứu đê ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài hợp tác khoa học 1994-1996, Viện Địa chất Hà Nội.
- [3]. Doan Van Tuyen, Tran Canh and Andreas Weller, 2000: Geophysical investigation of river dikes in Vietnam. European journal of environmental and engineering geophysics, No 4, 195-206.
- [4]. Millitze, M.; U., Stoetznner, 1978: Địa vật lý ứng dụng trong xây dựng và khai thác mỏ. Nxb. Công nghiệp nguyên liệu Đức, Leipzig.
- [5]. Nguyễn Xuân Thắng, 1990: Proceeding of Nuclear Technique in exploration and exploitation of Energy Mineral. Vienna Austria.



## NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG ĐỊA VẬT LÝ XÁC ĐỊNH TỔ MỐI TRONG ĐÊ, ĐẬP

Ngô Trí Còi, Trịnh Văn Hạnh,  
Phạm Văn Đông (\*) và Bùi Đắc Dũng (\*\*)

\*) Trung tâm Nghiên cứu phòng trừ mối, Viện Khoa học Thủy lợi - Bộ NN & PTNT

\*\*) Viện Khoa học kỹ thuật hạt nhân Viện năng lượng nguyên tử quốc gia

### ABSTRACT

#### RESEARCH ON THE APPLICATION OF GEOPHYSICS TO LOCATE TERMITE NESTS IN DIKES AND DAMS

Vietnam has more than 5000 km of dikes and about 400 dams with storage capacity of more than 1,000,000 m<sup>3</sup>. One of the reasons causing water leakage and seepage through the dike and dam body during high flood seasons is termite nest. The National project on "Research on the application of geophysics to locate termite nests in dikes and dams" has been carried out by the Center for Termite Control Research (CTCR) in 2001-2003 periods.

Ground Penetrating Radar (GPR) has been used to find termite nest and sonic detecting technique has been carried further to find whether the nest is dead or alive. GPR results on termite nests showed that the nests of diameter of more than 0.2 m could be located by 400, 200, 100 and 80 MHz antennas. The sonic detecting technique helped to reduce the use of antitermite chemicals on dead nests that could cause environmental pollution.

### TÓM TẮT

Việt Nam có hơn 5000 km đê điều và khoảng 400 đập chứa hơn 1.000.000 m<sup>3</sup>. Một trong những nguyên nhân gây thấm và rò rỉ nước qua thân đê, đập trong mùa mưa lũ là tổ mối. Dự án quốc gia "Nghiên cứu ứng dụng các phương pháp Địa vật lý phát hiện tổ mối trong thân đê đập" đã và đang được triển khai bởi Trung tâm nghiên cứu mối (CTCR) trong giai đoạn 2001 – 2003.

Phương pháp rada xuyên đất (GRP) đã được đưa vào sử dụng nhằm phát hiện tổ mối và kỹ thuật dò âm cũng được ứng dụng để phát hiện mối còn sống hay chết. Kết quả phương pháp rada xuyên đất trên các tổ mối cho thấy tổ mối với đường kính lớn hơn 0,2 m có thể được phát hiện ở các tần số đo 400, 200, 100, và 80 MHz. Kỹ thuật dò bằng sóng âm giúp việc giảm sử dụng thuốc diệt mối hoá học trong những tổ mối đã chết, giảm ô nhiễm môi trường.

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở Việt Nam có hơn 3.000 km đê Trung ương quản lý và gần 400 đập hồ chứa nước có dung tích 1.000.000 m<sup>3</sup> trở lên. Vào mùa mưa lũ hàng năm thường xảy ra hiện tượng rò rỉ, thấm lậu qua thân đê, đập và nếu không phát hiện xử lý kịp thời có thể xảy ra đổ vỡ. Một trong những tác nhân gây nên hiện tượng nêu trên là do mối gây hại. Chính vì lẽ đó mà đề tài: "Nghiên cứu ứng dụng phương pháp địa vật lý xác định tổ mối trong đê, đập" đã được hình thành và thực hiện từ 2001 – 2003. Dưới đây nhóm tác giả giới thiệu kết quả bước đầu đạt được của đề tài trong giai đoạn 2001 – 2002.

### CẤU TRÚC TỔ MỐI

Mối làm tổ dưới 2 dạng: tổ nổi và tổ chìm.

Công tác phát hiện tổ mối rất có ý nghĩa ở chỗ: tìm và định vị chính xác các tổ mối sẽ giúp giảm thiểu ô nhiễm trong việc diệt trừ mối và gia cố khoan phụt lấp bít lỗ rỗng do mối gây ra, ngăn ngừa khả năng sảy ra sự cố đê. Tổ mối dạng nổi dễ phát hiện khi quan sát bằng mắt thường. Tổ mối dạng chìm (khoảng chính chìm sâu trong lòng đất) không phát hiện được bằng mắt thường mà phải sử dụng thiết bị để dò tìm vị trí và kích thước tổ. Các

phương pháp địa vật lý được thử nghiệm ứng dụng là Rada xuyên đất và phương pháp dò âm.

## CƠ SỞ ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG PHÁP

### Phương pháp Rada xuyên đất (Ground Penetrating Radar - GPR)

Phương pháp Rada xuyên đất dựa trên cơ sở nghiên cứu tính chất truyền sóng điện từ trong lòng đất. Khi môi trường có sự khác biệt về tính chất truyền sóng thì xảy ra hiện tượng sóng phản xạ với hệ số phản xạ sau:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

trong đó: R: hệ số phản xạ

$\epsilon_1$ : hằng số điện môi của môi trường

$\epsilon_2$ : hằng số điện môi của đối tượng nghiên cứu

Thông qua thiết bị tạo sóng và thu sóng phản xạ (ăngten) để ghi nhận và xử lý số liệu người ta sẽ xác định được vị trí và kích thước của tổ mối.

### Phương pháp dò âm

Phương pháp dò âm dựa trên sự ghi nhận âm thanh do tín hiệu báo động của mối lính khi có hiện tượng nguy hiểm cho quân thể. Thông qua thiết bị biến đổi từ dao động cơ học sang dao động âm thanh mà tai người có thể nhận được tín hiệu này để xác định trạng thái tổ mối đang hoạt động hay đã ngừng hoạt động. Xác định trạng thái tổ mối giúp lựa chọn liều lượng, nồng độ các chế phẩm diệt mối theo đó giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

## KẾT QUẢ

### Nghiên cứu trên mô hình

Mô hình được thiết kế trong môi trường đất pha tàn tích (mô phỏng đất đắp đập) với các tổ mối có kích thước và độ sâu khác nhau (mô phỏng theo cấu trúc tổ của các loài thuộc giống *Odontotermes*) và thống kê theo bảng 1.

Bảng 1: Độ sâu và kích thước mô hình tổ mối

Mô hình Thông số	Tổ 1	Tổ 2	Tổ 3	Tổ 4	Tổ 5	Tổ 6	Tổ 7
Đường kính (cm)	20	40	40	60	60	80	100
Độ sâu (cm)	100	100	200	200	300	300	300

Thiết bị nghiên cứu là hệ Rada xuyên đất SIR – 10B với các loại hình ăngten 400, 200, 100 và 80 MHz. Kết quả nghiên cứu cho thấy tất cả các mô hình tổ mối đều phát hiện được bằng các loại hình ăngten đã thí nghiệm trong đó loại ăngten 200 MHz thể hiện dị thường rõ nét nhất (hình 1).

### Triển khai ứng dụng

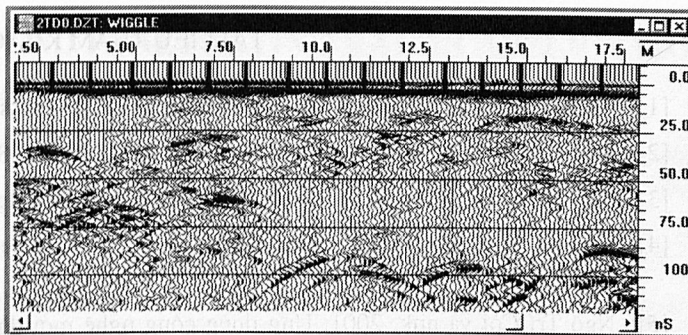
Sau khi thử nghiệm trên mô hình, kỹ thuật Rada xuyên đất đã được triển khai ứng dụng trên nhiều đoạn đê và đập phục vụ công tác phòng chống lụt bão năm 2001 và 2002 khi triển khai tại hiện trường đã kết hợp ứng dụng phương pháp dò âm để xác định trạng thái



hoạt động của mối (xem hình 2). Kết quả dò tìm tổ mối được tổng hợp ở bảng 2. Kết quả dò tìm tổ mối bằng phương pháp Rada xuyên đất tại đê tả Đào thể hiện trên máy (hình 3) và đã được kiểm chứng ngay tại hiện trường (hình 4).

Bảng 2: Kết quả triển khai ứng dụng phương pháp Rada xuyên đất và dò âm

Stt	Tên công trình	Đơn vị hành chính	Năm triển khai	Số lượng tổ mối		
				Tổng số	Tổ sống	Tổ chết
1	Đê tả Đuống K28 ÷ K34	Bắc Ninh	2001	271	190	81
2	Đê tả Đuống K34 ÷ K37	Bắc Ninh	2002	131	124	8
3	Đê tả Đào K10 ÷ K14	Nam Định	2001	314	269	45
4	Đê tả Đào K14 ÷ K18	Nam Định	2002	256	233	23
5	Đập Vân Trục	Vĩnh Phúc	2002	314	314	

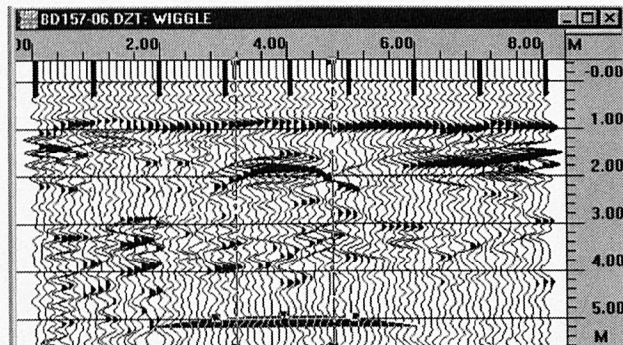


Hình 1: Giản đồ sóng của tuyến dọc cắt qua tâm 7 mô hình tổ mối bằng ăng ten 200MHz

Fig. 1: Wave diagram section passed by center of a model with 7 termite nests; anten 200 Mhz.



Hình 2: Hình ảnh thăm dò âm tại đê Tả Đào  
Fig. 2: Acoustic investigation image at dike Ta Dao.



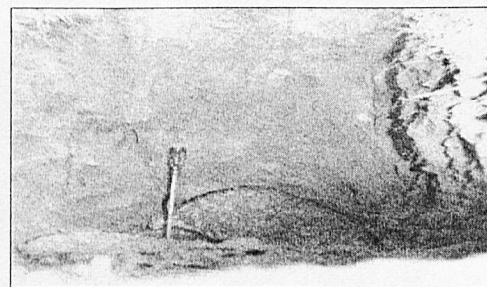
Hình 3: Kết quả khảo sát tổ mối bằng Rada xuyên đất tại K17 +271 đê Tả Đào.

Fig. 3: Results of finding termite nests at Km 17+721 dike Ta Dao.

## KẾT LUẬN

1. Phương pháp Rada xuyên đất ứng dụng dò tìm tổ mối trong đê, đáp cho kết quả đáng tin cậy. Dị thường tổ mối có kích thước  $\geq 20$  cm đều thể hiện trên giản đồ sóng Rada của các loại hình ăngten 400, 200, 100 và 80 MHz.

2. Để giảm thiểu ô nhiễm môi trường do thuốc diệt mối (sử dụng chế phẩm hoá học) gây ra nên ứng dụng đồng thời phương pháp dò âm.



Hình 4: Kết quả đào kiểm tra dị thường tổ mối tại Km 17+721 đê Tả Đào.

Fig 4: Control result of termite nest anomaly at Km 17+721 dike Ta Dao.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Annan A.P; 1992: Sensors and Software Inc. G.P.R Workshop Notes.
- [2]. Daniel D.J; 1996: Surface - Penetrating Radar. Chapter 7.8.
- [3]. SIR - Systems 10B, 1998: Manual. Thư viện Trung tâm Nghiên cứu phòng trừ mối.
- [4]. Xuxing xin and others, 1996: Study of G.P.R to detect termite nests in dyke and dam. Acta Entomology Sinica, vol.39.
- [5]. Ngô Trí Côi và nnk, 2001: Ứng dụng công nghệ mới dò tìm và xử lý mối trong đê. Thư viện cục phòng chống lụt bão và quản lý đê điều.
- [6]. Nguyễn Văn Giảng, Ngô Trí Côi và nnk, 1998: Đánh giá hiện trạng đê, đập miền Bắc bằng phương pháp Rada xuyên đất và các phương pháp địa vật lý khác. Thư viện Viện vật lý địa cầu.
- [7]. Phạm Văn Động, 2002: Nghiên cứu ứng dụng phương pháp Rada đất để phát hiện tổ mối và ẩn họa trong đê, đập ở Việt Nam. Luận văn Thạc sĩ khoa học.



## THE POSSIBILITY OF GROUND PENETRATING RADAR APPLICATION FOR DIKE AND DAM INVESTIGATION IN VIETNAM

Nguyen Van Giang

Institute of Geophysics, NCST of Vietnam

### TÓM TẮT

#### **KHẢ NĂNG CỦA PHƯƠNG PHÁP RADA XUYỀN ĐẤT TRONG KHẢO SÁT ĐÊ DẬP Ở VIỆT NAM**

Rada xuyên đất (GPR) là phương pháp địa vật lý nghiên cứu môi trường gần mặt với khả năng phân giải cao. Nó sử dụng sóng vô tuyến điện chủ yếu trong dải tần số từ 1 đến 1000 MHz để xác định hình ảnh của các đối tượng bị chôn vùi phía dưới mặt đất (hoặc các công trình ngầm). Kết quả của các trắc lượng Rada xuyên đất thường là các tuyến đo trên đó phản ánh các tham số môi trường, như là hằng số điện môi, vận tốc truyền sóng, độ dẫn điện, độ suy giảm, v.v... Phương pháp Rada có độ phân giải cao và cung cấp nhanh thông tin môi trường ở dạng biểu đồ khi mình giải bán định lượng các mặt cắt đo tại hiện trường.

Hiện nay, bộ máy mã hiệu Pulse EKKO 100A gồm các ăng ten thu và phân mềm phân tích là hệ thiết bị được áp dụng có kết quả trong khảo sát đê vad đập ở Việt Nam. Các mặt ranh giới lớp, khe nứt, tổ mối vị trí thấm và các khuyết tật khác trong đê hoặc đập đã được phát hiện và xác định vị trí bằng các mặt cắt địa rada.

### ABSTRACT

Ground penetrating radar (GPR) is a high-resolution near-surface geophysical method which employ radio waves, typically in the 1 to 1000 MHz frequency range to map structure and features buried in the ground (or in man-made structures). The results of GPR survey are often processed radar profiles with physical parameters of materials as permittivity, velocity, electrical conductivity, attenuation, etc. Radar method offers the highest resolution and rapidly provides continuous graphic format which permits rapid semi-quantitative interpretation for infield analysis.

Recently, the Pulse EKKO 100A from Sensors & Software Inc. was a successful application system instrument for dike and dam investigation in Vietnam. The interfaces, fractures, termite holes, seepages, defects etc. in the dike or dam were interpreted and located by georadar cross-sections.

### INTRODUCTION

The system of the river dike in Vietnam is about 5700 km. The Red river dike is one of the most important dikes for North Vietnam [7, 8]. Within these dikes weakness zones come into existence all over the year. During the dry season the dike materials, an inhomogeneous mixture of mainly clay, silt, sand and gravel (depending on the material locally available) are shrinking. This shrinking causes fissures and small fractures in the dikes. Additionally, all over the year, movements because of tectonic activity and because of material instabilities inside the dikes also cause fissures and fractures in the dikes. During the monsoon season much water flows through these fissures and fractures and it partly causes holes in different depths inside the dikes. The existence of the holes, fissures and fractures inside the dikes can be detected at the dike surface by Ground Penetrating Radar (GPR).

GPR is a non-destructive and non-invasive geophysical technique for rapidly imaging the shallow subsurface (typically up to 20 m depth) and producing high resolution colour sections in real time. In principle, the GPR technique is normally operated in the reflection mode (like an echosounder). Typically 100,000 pulses per second are transmitted downwards into the ground from an antenna shaped like a bow-tie and placed close to the ground surface. The impulses are of very short duration and contain a wide spectrum of

frequencies, typically between 50 MHz and 1 GHz. The energy levels transmitted are very low and thus doing not interfere with other radio equipment. Signals are reflected back from interfaces where there is a contrast in the dielectric properties between two adjacent layers. Target depth is proportional to the time taken for the signal to travel down and back to a given layer. The reflected signals are detected by a receiver placed on the ground surface adjacent to the transmitter. The separation distance between the transmitter and receiver is varied according to the target depth and the dielectric properties of the ground. The equipment can also be used in tomography mode for inspecting the internal structure of objects [1, 2, 3, and 4].

This paper is presented the methodology of GPR and some case of application for dike and dam recently.

## METHODOLOGY

GPR waves are high frequency electromagnetic waves (1 MHz-1 GHz). In a homogeneous and isotropic medium they obey the following Maxwell equations [5, 13]:

$$\begin{cases} \text{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \\ \text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \\ \text{div}\vec{B} = 0 \\ \text{div}\vec{D} = \rho \end{cases} \quad (1)$$

Where

H: Magnetic field intensity (A/m)

E: Electrical field intensity (V/m)

B: Magnetic induction (Vs/m<sup>2</sup>)

D: Electrical displacement (As/m<sup>2</sup>)

J: Current density (A/m<sup>2</sup>)

$\rho$ : Free charge density (As/m<sup>3</sup>)

If we use Maxwell's equations number one and two, we will come to the following differential equation:

$$\nabla^2 E - \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

This is not the wave equation, but it is an expression of how electromagnetic energy is propagated. An easy way to understand this equation is to compare it with an ordinary wave equation of a plane unattenuated wave:

$$\nabla^2 \alpha = -\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \alpha}{\partial t^2} \quad (3)$$

If we rearrange and substitute  $\alpha$  with E the resemblance is obvious. We can see that the third term of eq. (2) is excluded in eq. (3). Since eq. (3) is derived without attenuation we can deduce that the third term has to do with attenuation. We can also deduce that the second term represents an unattenuated wave with a velocity:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (4)$$

If we exclude the second term in eq. (2) and substitute E with  $\alpha$ , the heat equation appears. This is not altogether true since heat is a scalar, but it indicates that when this term



dominates, the electromagnetic energy is not propagated as waves. The actual name for propagation when the third term dominates is diffusion.

Since we are interested in the EM-wave property, that is when eq. (2) exhibit wave nature, we assume harmonic wave propagation for a wave travelling along the z-axis. The complex notation would be:

$$E(z,t) = E(z) e^{-j\omega t} \quad (5)$$

Finding the first and second derivatives and substitute into eq. (2) we get:

$$\nabla^2 E + \omega^2 \mu \epsilon E + j\omega \mu \sigma E = 0 \quad (6)$$

As seen in the equation above the second term dominates at higher frequencies,  $\omega^2 \epsilon > \omega \sigma$ , and the third term dominates at lower frequencies,  $\omega \sigma > \omega^2 \epsilon$ . This limits the frequency band in which radar can be used, since radar is based on wave behaviour. The upper limit of the frequency band is caused by the water relaxation phenomenon. That is, dipolar molecule oscillation in a time varying electric field. By rearranging eq. (6) we get:

$$\nabla^2 E + k^2 E = 0 \quad (7)$$

Where:

$$k^2 = \omega^2 \mu \epsilon + j\omega \mu \sigma \quad (8)$$

$$\text{Setting } k = (a + jb) \quad (9)$$

Where k is the wave number and  $k^2$  the propagation constant.

Eq. (7) being Helmholtz eq. Yielding the solution to the EM-wave eq. For a harmonic wave:

$$E = E_0 e^{-j(\omega t - kz)} \quad (10)$$

By using the expression (9) put into eq. (10) we will get:

$$E = E_0 e^{-j(\omega t - az)} e^{-bz} \quad (11)$$

The first factor represents unattenuated wave propagation, and the second factor the attenuation. The phase velocity of the EM-wave is obtained by zeroing the phase,  $(\omega t - az)$ , thus:

$$v = \frac{\omega}{a} \quad (12)$$

and the wave length,  $\lambda$ , since  $v = \lambda * f$ :

$$\lambda = \frac{2\pi}{a} \quad (13)$$

The depth at which the amplitude has decreased 1/e is called the skin depth. That means that when the attenuation factor in eq. (11) is equal to 1/e, the expression for the skin depth is  $z = 1/b$ , or by using the notation:

$$\beta = \frac{1}{b} \quad (14)$$

Skin depth should not be confused with penetration depth; skin depth can be used to compare different media. We need to find “k”, that means the solution of eq. (8):

$$a = \omega \left( \frac{\mu \epsilon}{2} \right)^{\frac{1}{2}} * \left[ \left( \left( \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2 + 1 \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$b = \omega \left( \frac{\mu \epsilon}{2} \right)^{\frac{1}{2}} * \left[ \left( \left( \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2 + 1 \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Where “a” is phase coefficient and “b” the attenuation coefficient. Then the term  $\sigma/\omega\epsilon$  plays an important role. This term is called tangent of loss ( $\tan \delta$ ) and its reciprocal is called the Q-factor of medium.

Then the Q-factor ( $1/\tan\delta$ ) is:

$$Q = \left[ \frac{1}{\tan \delta} \right] = \left| \frac{\partial D}{J_i} \right| = \frac{\omega \epsilon}{\sigma} \quad (17)$$

Tab. 1: shows the different formulas and their approximations in GPR related applications [3, 5, and 13].

EM-Propagation	EM-Propagation in low loss media	Comment
$v = \frac{\omega}{a}$	$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$	The propagation velocity is only dependent on $\epsilon_r, \mu_r=1$
$\lambda = \frac{2\pi}{a}$	$\lambda = \frac{1}{f \sqrt{\epsilon \mu}}$	Wavelength is dependent on velocity
$\delta = \frac{1}{b}$	$\delta = \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}$	The skin depth decreases as conductivity increases
$B = 20 \log_{10}(e)$	$B = 1636,01 * \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$	Attenuation is independent of frequency

When a wave front encounters an interface between two materials at which the electrical properties of the medium change, reflection, R and transmission, T coefficients can be calculated by means of the boundary conditions. For radar frequencies the capacitive properties dominate the

conductive properties and thus attenuation remains essentially constant at different conductivities [2, 3, 4]. Some observed electrical values, at 100 MHz, are listed in tab. 2.

Tab. 2 Typical relative permittivity constant, velocity, conductivity and attenuation observed in common geological material at 100MHz (Davis [4])

Material	$\epsilon_r$	$v, (m/\mu s)$	$\sigma, (mS/m)$	$B, (dB/m)$
Air	1	300	0	0
Fresh water	80	33	0,5	0,1
Sea water	80	10	30000	1000
Dry sand	3-5	150	0,01	0,01
Saturated sand	20-30	60	0,1-1	0,03-0,3
Limestone	4-8	120	0,5-2	0,4-1
Shales	5-15	90	1-100	1-100
Sits	5-30	70	1-100	1-100
Clays	5-40	60	2-1000	1-300
Granite	4-6	130	0,01-1	0,01-1



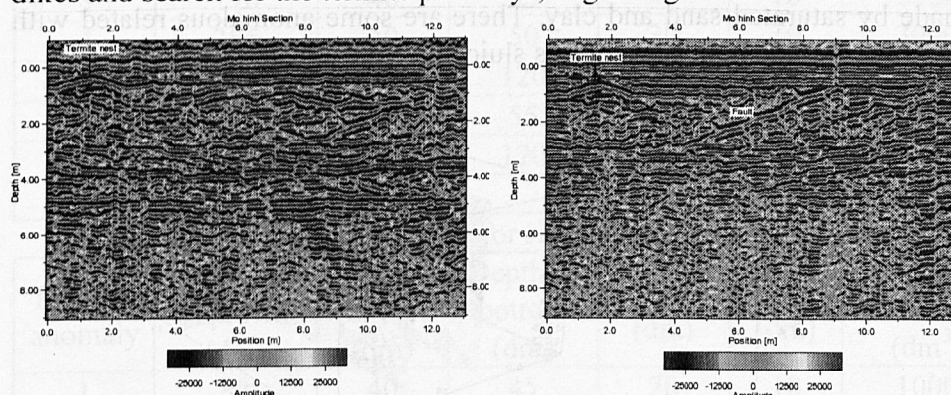
The conductivities of rocks and soils are more variable than the permittivities, but both are strongly influenced by water content as seen in tab. 2. Clays present a particular difficult obstacle because they release ions on absorbing water and this makes them almost impenetrable to radar waves.

## HISTORY CASES

The defect of the dike/dam was always a major interest for GPR research [1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, and 15]. The GPR system was tested for dike/dam's capability to study its present structure and to locate the subsurface fractures, near-surface holes or voids in the body of the dike/dam.

### 1. Detection of subsurface termites and fractures for Hanoi's dike

Sometimes, the holes in the body dike created by termites of different type, in different depths and with different diameters. Traditionally, the specialists regularly walk along the dikes and search for the termite pathways, beginning at the dike surface and continuing



**Fig. 1: GPR sections of Red river Hanoi dike by 200 MHz antenna**

down to the holes within the dike. If the termite holes are near the dike surface they may be detected with metal tubes. But if they are deep inside the dike, they cannot be detected with metal tubes, and then become the dangerous ones for dike breaking. We used GPR technology with Pulse Ekko 100 to detect the termite holes. Figure 1 presents GPR sections of Red river Hanoi dike by 200 MHz antenna. The target of this dike section investigation was the location subsurface holes which are related with termite nests or voids and fractures. A close examination of the data showed an excellent correspondence between the anomalies on the GPR profile and the known termite nests, both in terms of spatial position and depth. The GPR anomalies have located 1 termite nest with 1m of depth and 0.8 m of width on two parallel GPR profiles with 2 m of separation each other and one fracture. Because on the two sections of GPR profiles is shown the same termite then the spatial position of this termite spreads over 2 m.

### 2. Assessment Present Condition of the Earths Filling Side of Sluice under the Dike by GPR

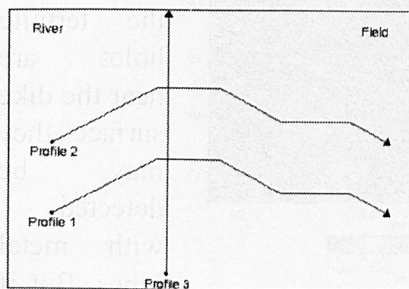
The weakness zones of the dike are caused by holes and seepage of water along small fissures and fractures inside the both sides of sluice under the dike. These are also the dangerous ones for dike breaking. During the dry season the dike materials, an inhomogeneous mixture of mainly clay, silt, sand and gravel are shrinking. This shrinking causes fissures and small fractures in the dikes. During the monsoon season much water flows through these fissures and fractures and it partly causes holes in different depths inside the dikes. The Pulse EKKO 100A is powerful assessment tool which was used for

assessment present condition of the earth's filling side of sluice under the dike. The inhomogeneous areas are located by georadar cross-sections with the holes, fissures and fractures.

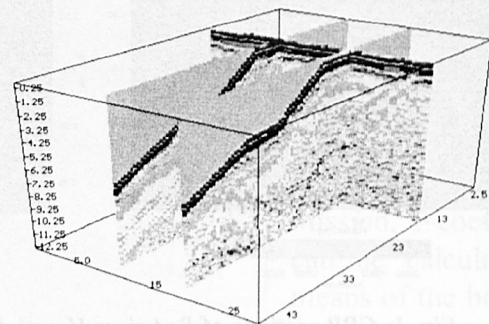
#### Vong Nguyet Sluice at right bank of Cau river

The Vong Nguyet Sluice is situated at Km 32+275 of Cau river which is belonging to Tamgiang-Yenphong-Bacninh. The top of dike is 6m of width and the side of river is 13.5m and the side of field is 23.5m of length. There were three GPR profiles measuring which were located in figure 2 with used frequency of antenna 50 and 100 MHz.

There was used Common Mid Point (CMP) mode for EM velocity determining with antenna frequency 100 MHz and the value for velocity of this geological formation is 0,075 m/ns. The georadar profiles are presented in figure 3. The geological structure of the dike consists of 3 layers in general. The first layer is surface layer with thickness 1,2 m which made by soil and fine grained sand. The second layer is from 1,2 to 4,5 m of depth which made by clay with soil and sand. This is the layer of dike body. The last layer is bottom of the dike which made by saturated sand and clay. There are some anomalous related with holes and weakness zones on the both sides of this sluice (see the tab. and fig. below)



**Fig. 2: The location of 3 GPR profiles at Vong Nguyet Sluice**



**Fig. 3: GPR cross-section structure for three profiles at Vong Nguyet sluice by 50 MHz antenna**

**Tab. 3: The parameters of GPR anomalous for Vong Nguyet Sluice**

From cross-section structure for left side of Vong Nguyet Sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
I	140	45	55	10	15	1500	6
II	80-120	60	100	40	10	16000	64
III	220-260	70	120	40	10	20000	80
	320-400	80	120	80	10	32000	128
Total:						69500	278

From cross-section structure for right side of Vong Nguyet Sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
I	150	40	45	10	10	500	2
Total:						500	2

Legend:

Kind of anomaly I, 2, 3, = Anomaly

Kind of anomaly I, II, III, = Weakness zone



*Vanthai sluice at right side of Thaibinh River*

The Vanthai sluice is situated at Km 9 + 550 of right side of Thaibinh dike which is belonging to Minhtan - Luongtai - Bacninh. The sluice has three gates with 3 m of width of each one. There are 2 GPR profiles measured on the both sides of sluice and one profile along the dike and one CMP profile for EM velocity calculation. The value of EM velocity for this geological formation is 0.072 m/ns.

*Tab.4: the parametres of GPR anomalous for Vanthai Sluice*

From cross-section structure for left side of Vanthai Sluice

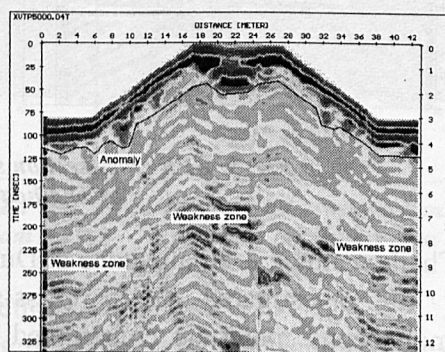
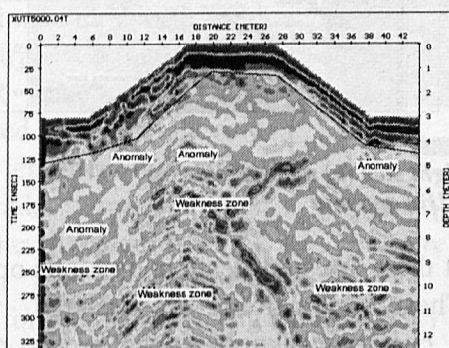
Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
1	45	75	85	30	10	3000	12
2	95	50	65	30	10	4500	18
3	170	40	55	40	10	6000	24
4	385	40	50	30	10	3000	12
I	120-170	10	120	50	20	110000	440
II	280-340	45	55	60	20	12000	48
III	340-400	95	120	60	20	30000	120
Total:						168500	674

From cross-section structure for right side of Vanthai Sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
1	80	40	45	20	10	1000	4
I	10-60	65	80	50	20	15000	60
II	180-250	50	110	70	20	84000	336
Total:						100000	400

From cross- section structure for dike of Vanthai sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
I	60-100	50	100	40	20	40000	160
II	210-270	50	70	60	20	24000	96
Total:						64000	256



**Fig. 4: GPR cross-section structure for left side (a) and right side (b) of Vanthai sluice by 50 MHz antenna**

### Thaihoa sluice at left side of Duong river

The Thaihoa sluice is situated at Km 45 + 30 of left side of Duong dike which is belonging to Modao - Quevo - Bacninh. The sluice has one gate with 2 m of width. There are 2 GPR profiles measured on the both sides of sluice and one profile along the dike and one CMP profile for EM velocity calculation. The value of EM velocity for this geological formation is 0.075 m/ns.

Tab.5: The parametres of GPR anomalous for Thaihoa Sluice

From cross-section structure for left side of Thaihoa Sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
1	80	20	35	20	10	3000	12
I	0-60	70	100	60	20	36000	144
II	200-250	80	110	50	20	30000	120
Total:						69000	276

From cross- section structure for right side of Thaihoa Sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
I	60-100	70	90	40	20	16000	64
II	200-260	80	120	60	20	48000	192
Total:						64000	256

From cross-section structure for dike of Thaihoa sluice

Kind of anomaly	Position of profile (dm)	Depth to top (dm)	Depth to bottom (dm)	Length (dm)	Width (dm)	Total Volume (dm <sup>3</sup> )	Volume of holes (dm <sup>3</sup> )
I	110-170	40	100	60	10	36000	144
Total:						36000	144

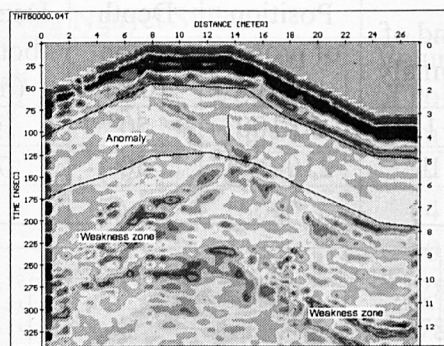
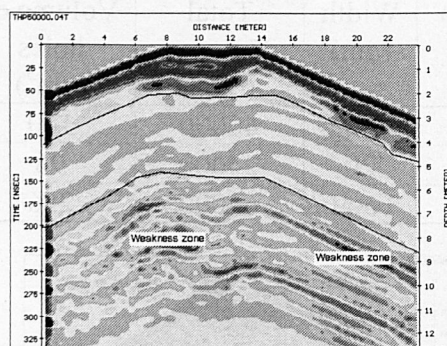
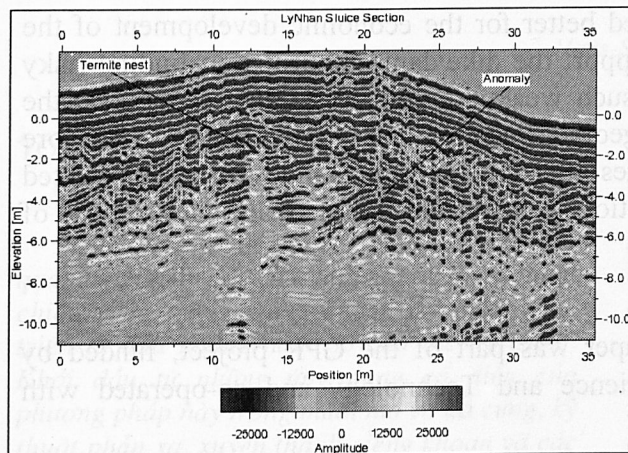


Fig. 5: GPR cross-section structure for right side (a) and left side (b) of Thaihoa sluice by 50 MHz antenna

Thaihoa sluice is small sluice at Duong dike but there are significant anomalous on the basis of investigated GPR cross-sections. These anomalous are related with inhomogeneous materials constructed dike where occurs weakness zones in the rainy season.



### Lynhan sluice at right side of Red river



**Fig. 6 GPR cross-section structure for left side of Lynhan sluice**

Lynhan sluice is situated at Km 150 + 597 which is belonging to Phuphuc - Lynhan - Hanam. This old sluice has one gate with diameter 1.2 x 0.8m. There are 2 GPR profiles measured on the both sides of sluice and one profile along the dike and one CMP profile for EM velocity calculation. The value of EM velocity for this geological formation is 0.070 m/ns. The GPR anomalous from cross-section structure for left side of Lynhan sluice is shown in fig 6 is related with termite nest. The other GPR anomalous is deeper than the

termite site and related with lens of sand where weakness site in the body of dike is. Geological structure of this dike consists of 3 layers among them the bottom of the dike is homogeneous layer.

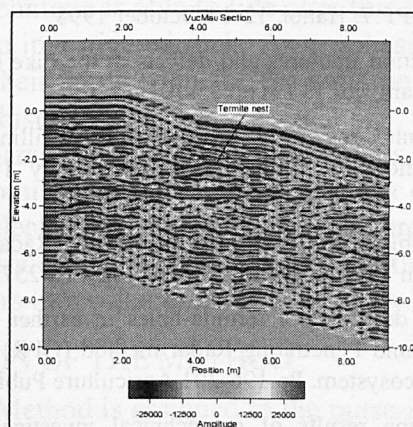
### 3. Investigation termite nests in the dam by GPR

Vucmau and Yenmy dams are situated on the Central Vietnam where large reservoirs are. The dams play very important role. But every year were becoming dangerous of weakness zones related with holes and seepages. The termites were located on the side of dam by GPR cross sections for this dams (fig. 7 and 8)

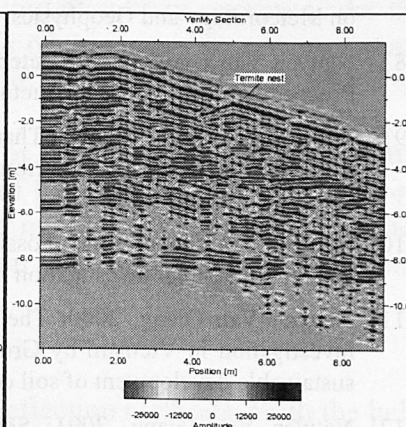
### CONCLUSIONS

By the special request of the dike examination, GPR technique has been used, developed and provided relative information which other geophysical methods can not provide successfully.

The practical influence of reflection on termites and fractures detection was validated by on-site measurements for dike/dam sections in North and Central Vietnam. The GPR technique has played an important role in engineering. The georadar investigation of the dikes/dams is of great use to diminish risk for the people living near the risky dike/dam sections.



**Fig. 7: GPR cross-section structure for Vucmau dam**



**Fig. 8: GPR cross-section structure for Yenmy dam**

As a consequence of dike/dam breakings during the rainy season agricultural areas are flooded, buildings are damaged or destroyed and people are insured or killed near risky sections of the dikes/dams. Much money has to be spent by the Vietnamese Government

for repair of broken dike/dam sections. These problems can be hindered and much money can be saved if the weakness zones in the dikes/dams are detected and stabilised before the rainy season. The money saved can be used better for the economic development of the country. We are convinced that we can support the dike/dam authorities in finding risky dike/dam sections. We suggest detecting such weakness zones by GPR. Of course, the dikes/dams can not be investigated by georadar along their whole length. Therefore dike/dam sections of risk for strong damages after dike/dam breaking have to be selected for the georadar investigations. This selection is in responsibility of the Department of Dikes Management and Flood Control.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Most of the work reported in this paper was part of the GPR project, funded by Vietnam National Centre for Natural Science and Technology and co-operated with Vietnam Institute for Water Resources.

## REFERENCE

- [1]. P.M.Andersson, B.G.Linder, N.R.Nilsson, 1991: A radar system for mapping internal erosion in embankment dams. Water Power & Dam Construction, July 1991, p.11-16.
- [2]. Annan A.P., Cosway S.W., 1992: Ground penetrating radar survey design. Paper prepared for the Annual Meeting of SAGEEP Chicago, April 26-29, 1992, 26 pages.
- [3]. Daniels D.J., Gunton D.J., Scott H.F., 1988: Introduction to subsurface radar. IEE Proceedings-F, Communications radar and signal processing, vol.135, part F, number 4, p.277-392.
- [4]. J.L.Davis, A.P.Annan.1989: Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37(5), p.531-551.
- [5]. Du S., 1996: Determination of water content in the subsurface with the ground wave of Ground Penetrating Radar. Herbert Utz Verlag Wissenschaft, Munchen, pp.117.
- [6]. Jol H.M., Smith D.G., 1992: Ground Penetrating Radar: Recent Results. Recorder (Canadian Society of Exploration Geophysicists) vol.XVII (10), p.15-20.
- [7]. Nguyen Van Giang, 1998: Ground Penetrating Radar for dike investigation in Vietnam. Proceedings of the Scientific conference. The 5<sup>th</sup> ASEAN Science and Technology Week. ASEAN Sub-Committee on Meteorology and Geophysics. PP.7, Hanoi, 12-14 October 1998.
- [8]. Nguyen Van Giang, 1999: Detection fractures and defects in the dike by Ground Penetrating Radar. Proceeding of the NCST of Vietnam, vol.11 (2) pp.95-101
- [9]. Nguyen Van Giang, Nguyen Thanh Cong, 1999: Assessing earth's filling side of sluice under the dike by the GPR method. Contributions of Science and Technology 1994-1999, t. IV, pp. 33-41. Agriculture Publishing House.
- [10]. Nguyen Van Giang, 2000: Possibility of the Ground Penetrating Radar application for geotechnical and environmental investigation in Vietnam. Journal of Geology, N. 257, 3-4/2000, p.23-32.
- [11]. Nguyen Van Giang, 2000: The detection of termite-holes in earthen dams and other geotechnical investigation in Vietnam by Ground Penetrating Radar method (GPR). Soil organism resources and sustainable development of soil ecosystem. Pp.196-201.Agriculture Publishing House, Hanoi
- [12]. Nguyen Van Giang, 2001: Some results of geotechnical investigation in Vietnam by Ground Penetrating Radar method. Vietnam Geotechnical Journal, No. 1-2001, p.10-18.
- [13]. Sensors & Software, 1996: PulseEKKO100RUN, User's Guide, Version 1.2. Technical Manual 25.
- [14]. Olhoeft G., 1996: Application of Ground Penetrating Radar. Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on GPR, Sendai, Japan. P.1-4.
- [15]. Wang H., Zhang P.,1998 : Detection of dam seepage with GPR. Proceedings of GPR'98 Kansas, USA, p.521-526.



## GPR FOR HYDROGEOLOGICAL PROBLEMS

Thomas Richter Bo-Ra-tec GmbH,

Hans-Schrader-Str. 11, D-99706 Sondershausen, Germany

email: [boratec@t-online.de](mailto:boratec@t-online.de)

### TÓM TẮT:

#### **PHƯƠNG PHÁP RADA XUYỀN ĐẤT TRONG CÁC VẤN ĐỀ ĐỊA CHẤT THUỶ VĂN**

Trong môi quan hệ mật thiết với nhu cầu quản lý an toàn các chất thải hạt nhân, kỹ thuật chiếu rada trong giếng khoan đã được phát triển từ đầu những năm 80 của thế kỷ trước. Khởi đầu từ những ứng dụng cổ điển của phương pháp này trong muối mỏ và đá cứng, kỹ thuật phản xạ, xuyên thành giếng khoan và các phương pháp cắt lớp đã được phát triển sâu hơn trong ứng dụng ở các lĩnh vực khác, ví dụ như vấn đề địa chất thủy văn, v.v... Bài báo đưa ra cái nhìn tổng quan về phương pháp, những điểm khác biệt, điều kiện ứng dụng phương pháp. Một vài ví dụ mô tả khả năng sử dụng của phương pháp mới trong các vấn đề địa chất thủy văn khác nhau.

### ABSTRACT

In close connection with the demand of a secure monitoring of nuclear waste deposits, the borehole radar technology has been developed from the beginning of the 80<sup>th</sup>. Starting from the classical application of this method in salt mining and in hard rock, the technology of reflection and especially crosshole and tomographic measurements has been further developed for application in other fields, e.g. for hydrogeological problems. The paper provides a general overview about the method itself, its different modes and special conditions for the measurements. A few case histories describe the possibilities of the use of these new methods for various hydrogeological problems.

### INTRODUCTION

Ground penetrating radar (GPR) and borehole radar have been successfully used since more than 20 years for different applications in mining, tunnelling, quarrying, civil-engineering, environment and hydrology. Subsurface radar technology has been widely used for investigation of tectonic systems and hydrogeological structures for several years. The depth of penetration is often limited by conductive overburden. A main advantage of radar measurements in boreholes, a relatively new technique in applied borehole geophysics, is that this technique is able to tide over this limitation by measuring under the overburden directly in the investigated rock. An emphasis of this paper is to demonstrate the new techniques and their application for the solution of hydrogeological problems on the basis of selected case histories.

The detection and characterisation of fracture zones or karst problems in dissolvable rocks like limestone, dolomite and salt is a major aspect of hydrogeological investigations in coherent rock. The dielectric properties of the rock are mainly determined by its water content. Special techniques allow the determination or estimation of special hydrogeological parameters like water content or porosity.

### GENERAL DESCRIPTION OF THE METHOD

The Borehole-Radar-Method is assigned to the pulse-reflection methods. With the help of a transmitter antenna short electromagnetic pulses are transmitted into the rocks. These waves spread out in the rocks. At discontinuities of rock layers with different electrical parameters (dielectric constant, electrical conductivity) a part of the electromagnetic energy is reflected to a receiver antenna. The measured travel time between the transmitted and reflected electromagnetic pulse on each measuring point of the profile gives together with the known propagation velocity of the radar waves in the different types of rock an information about the distances to and the run of the geological strata along the measured

profiles.

A decisive advantage of the Geo-Radar-Method is the high speed of measurements caused by the possibility of carrying out continuous measurements. Transmitter and receiver antennas are moved continuously along the borehole. Special coupling conditions of the antenna systems to the borehole rocks are not necessary. Measurements are possible in dry, air filled but also in water filled boreholes up to a depth of 1000 metres in vertical boreholes. The speed of measurements determines the data point density of the rock investigation around the borehole. Generally, the data point densities varies between a few centimetres to one metre. With the help of this time- and cost-effective method it is possible to gather three-dimensional structural information about geology and tectonics around the borehole. In comparison to conventional logging methods, the borehole radar technology provides information about the surrounding rock with different penetration from several metres up to several hundred metres with high resolution.

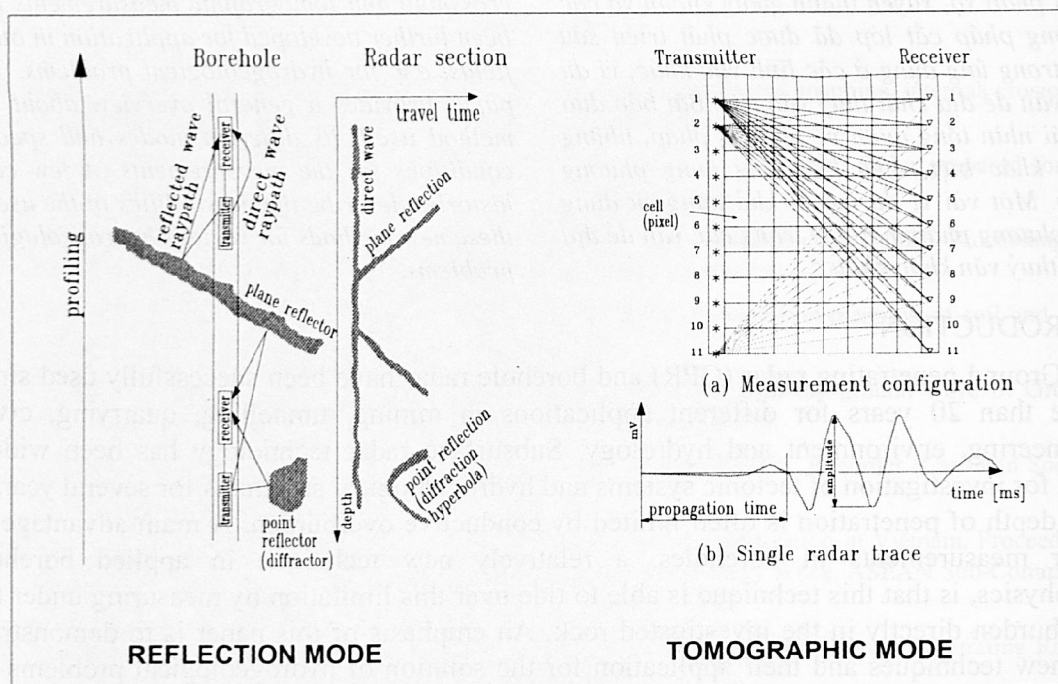


Fig. 1: Principles of borehole radar measurements in reflection and cross hole/tomographic mode

The borehole radar technology can be used in two modes – reflection and crosshole tomography.

Dipole transmitter and receiver antennas are lowered in the same borehole (see Fig. 1 – left sketch) and displaced stepwise along the measured interval. For each position, an electromagnetic impulse (central frequency 22 MHz to 250 MHz) is generated by the transmitter antenna. Discontinuities in the rock or soil around the borehole, like contacts between layers, voids, fractures, reflect a part of the energy back to the receiver. The resulting signals are displayed in a way similar to reflection seismics giving an image of the surrounding rock.

The investigation range mainly depends on the electric resistivity. It may be estimated as follows:

- a few metres or even less in clayey or silty soil - in most cases the method cannot be applied under such circumstances;



- 10 to 40 metres in normally fractured rock;
- 40 to 150 metres in massive rock;
- Up to 300 metres and more in some exceptional situations (pure rock salt, very massive limestone or granite, ice ...).

In the topographic mode (see Fig. 1 – right sketch), the transmitter and receiver antennas are lowered in two separate boreholes. The signals are transmitted through the rock or soil between the holes and are recorded for every position of the transmitter and the receiver. The very large number of signals ("rays") is processed numerically in order to compute an image (tomogram) of the distribution of radar velocity or radar attenuation in the investigated area. Using these parameters, it is possible to determine different parameters like water content, porosity, and electrical resistivity.

The depth of penetration in the tomographic mode is deeper than in the reflection mode. Even in conductive rocks, ranges up to 20 metres have been achieved.

The equipment being currently used is the RAMAC and RAMAC/GPR borehole radar system with 22 MHz, 60 MHz, and 100 MHz and 250 MHz antennas for the dipole mode. Due to the length of the probe, the borehole should be 3 to 5 metres deeper than the interval to be investigated. It is recommended to avoid conductive fluids (mud or brine) during the drilling.

## CASE HISTORIES

There exists a variety of hydrogeological applications for borehole radar methods. The basic and general aim in hydrology is to detect tectonic-geological structures like fracture zones, stratigraphic or rock discontinuities and aquifer structures within the rock in the vicinity of the borehole. Classical tasks are for instance:

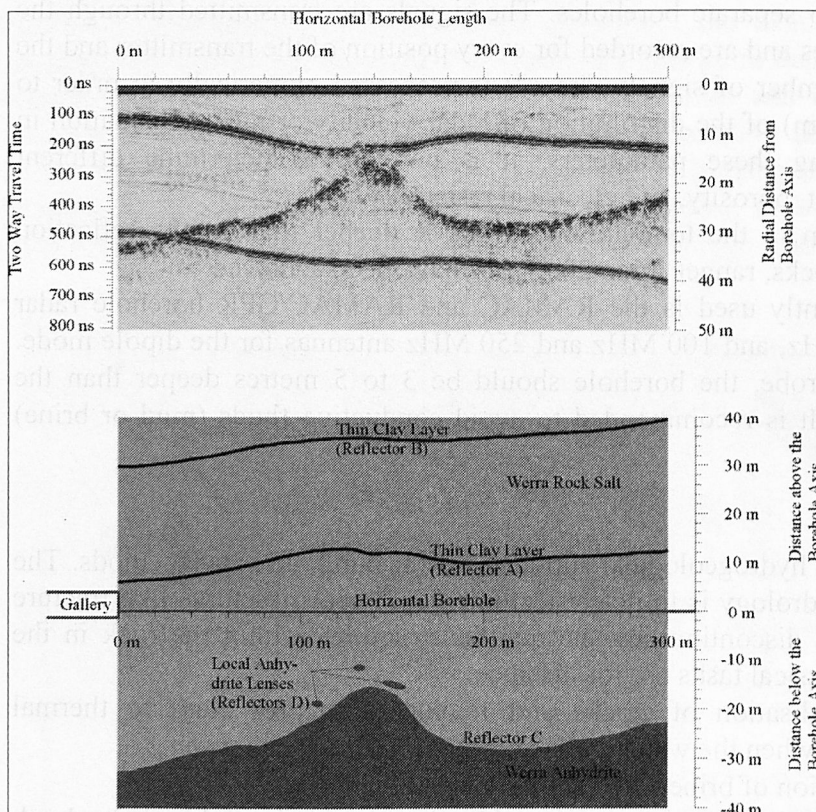
- Investigation and localisation of cracks and fracture structures close to thermal boreholes in situations when the water wells do not produce enough water;
- Detection and localisation of brine filled aquifers in salt deposits;
- Localisation of weathered and karstic zones and bodies in deposits and in the bedrock of dissolvable rocks like limestone and dolomite in areas endangered by flooding, i.e. along rivers; determination of its size and shape;
- Analysis of the hydrogeological situation by detection of the fracture system in potential nuclear waste deposits and monitoring the risks of these fractures caused by heat production of the nuclear waste;
- Determination of hydrogeological parameters like porosity or water content of the rocks along the borehole and in the plane between two boreholes;
- Monitoring of propagation of saline tracers in sedimentary rocks.

The following three case histories will demonstrate the use of borehole radar methods for geologic-structural problems with special hydrogeological aspects.

### *Example 1 – Borehole radar reflection measurements in salt deposits*

The main mining technology in rock salt mines is generally the pillar-and-chamber method. In the mine where the results of the radar measurements are shown in the following example chambers with a length of 600 m and a height and width of 20 m were excavated. The knowledge of the exact bedding of the hanging clay back, a very thin clay layer of only several millimetres thickness, is very important for the first mining phase, the TBM or blasting excavation of the head drift. The knowledge of the structural conditions of the lying anhydrite is decisive for the planning of the maximal excavation height of the

chamber during the second mining phase. Simultaneously with this optimal excavation planning, the knowledge of the lying anhydrite layer is important to guarantee the mining security. Often this layer is filled with water and brine coming from the bedrock. For a secure mining excavation process, it is necessary to guarantee all time a safe distance to the anhydrite.



**Fig. 2: Borehole radar reflection measurements from horizontal boreholes for a salt deposit investigation in front of the face**

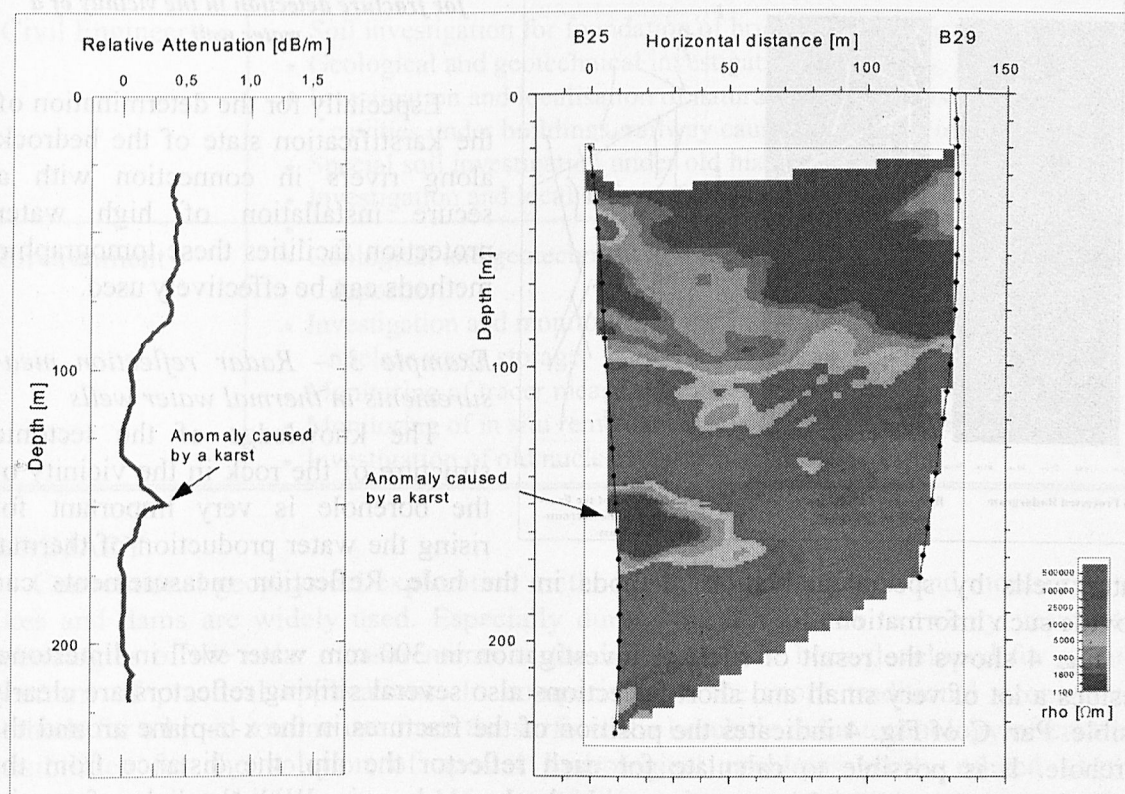
The exploration of new mining areas is carried out by drilling long horizontal boreholes (length up to 1000 meters) ahead of existing mining drifts. Dipole radar measurements that are performed inside these boreholes provide a detailed image of the deposit with an investigation radius of at least 50 to 100 metres. Since 1990 more than 100 boreholes have been

measured with the described borehole radar technique. The representative example shown in Fig. 2 (upper part: radar section; lower part: geological interpretation model) demonstrates the efficiency of the method for the preliminary geological exploration of salt deposits from measurements in a 300 metres long horizontal borehole. Several major reflectors are clearly identified:

- The reflectors A and B located above the borehole correspond to thin clay backs. The reflector A originates from the main clay back. It is very important for the planning of the head drift.
- Reflector C correlates with the contact between the salt and the massive anhydrite in the lying wall. This contact is often very uneven with local uplifts. For the chamber planning and to guarantee the hydrogeological security it is very important to know these uplifts of the anhydrite. The amplitude of these uplifts can reach more than 15 m.
- The reflectors D correspond to small anhydrite lenses that are located above the massive anhydrite layer C.

All borehole radar investigations in the salt mine were carried out with the 60 MHz-dipole antenna. The geological correlation of the reflections to the hanging and lying wall is possible and is well defined.





A) Crosshole measurement between two boreholes (distance: 130 m) C) Tomogram of the distribution of the electrical resistivity between two boreholes

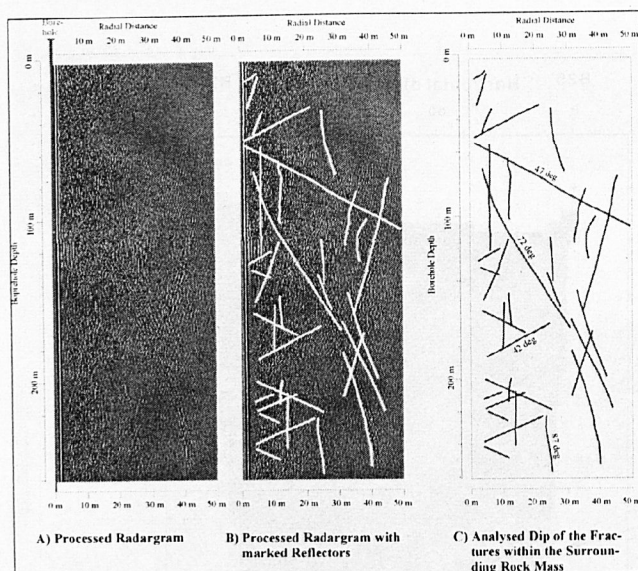
**Fig. 3: Borehole radar technology for localisation of large karstic areas**

### Example 2 – Electromagnetic crosshole and tomographic measurements in limestone and dolomite rocks for karst detection

Crosshole or tomographic measurements are effectively used for structural hydrological investigations in dissolvable rocks like limestone and dolomite. These methods can localise open and backfilled karstic zones or general disturbances in the rocks based on its significant contrast to the undisturbed rock.

An example of a combined crosshole (A) and tomographic measurement (B) is shown in Fig. 3. The aim was to detect large karstic, weathered and water filled areas in the limestone body. This knowledge is important for the future excavation of this deposit. Part A shows the attenuation diagram of the crosshole measurement between two adjacent boreholes. This curve shows a significant increase of the attenuation in a depth of about 140 m. It indicates an existing karstic rock body lying between the two boreholes at that depth. From this kind of measurement it is impossible to derive the lateral position between the boreholes and the shape and size of the karstic zone.

This quantitative information is determined by a tomographic measurement between the holes. The two-dimensional tomogram of the distribution of the electrical resistivity in the plane between the two holes is shown in part B of Fig. 3. The size and shape of the karstic zone is visible as a dark zone in the tomogram around the depth of 140 m. The dark upper part of the tomogram until a depth of around 100 m results from the weathered overburden overlying the limestone. In the attenuation diagram of part A, this overburden is also visible as an area with high attenuation.



**Fig. 4: Dipole radar reflection measurement for fracture detection in the vicinity of a water well**

Especially for the determination of the karstification state of the bedrock along rivers in connection with a secure installation of high water protection facilities these tomographic methods can be effectively used.

### Example 3 – Radar reflection measurements in thermal water wells

The knowledge of the tectonic structure of the rock in the vicinity of the borehole is very important for rising the water production of thermal

water wells by special activation methods in the hole. Reflection measurements can provide such information.

Fig. 4 shows the result of such an investigation in 300 mm water well in limestone. Besides a lot of very small and short reflections also several striking reflectors are clearly visible. Part C of Fig. 4 indicates the position of the fractures in the x-z-plane around the borehole. It is possible to calculate for each reflector the dip, the distance from the borehole and the point of intersection with the borehole axis. With the help of special algorithms of signal analysis, it is possible to estimate parameters describing the width of the fractures and the state of the fracture (open or filled). This information is the basis for an activation process within the boreholes at the right depth.

Besides these typical applications of the borehole radar method for hydrogeophysical problems this new method is usable for a variety of applications that is compiled in the following table:

Field of application	Description of main applications and investigation possibilities
Mining	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geological and geotechnical investigation of different mines, mainly in potash and rock-salt mines but also in diamond, gold, coal, uranium and talc mines;</li> <li>Structural investigation in front of the mining face in long horizontal exploration boreholes;</li> <li>Localisation of brine filled or leaching areas especially in salt mines;</li> <li>Structural investigation of salt cavern fields;</li> <li>Localisation of old man-made galleries in mines.</li> </ul>
Quarrying	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geophysical exploration of new limestone quarries;</li> <li>Detection of karstic areas within quarries, especially in limestone.</li> </ul>
Hydrogeology	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigation of the fracture system within the rocks around boreholes for water production;</li> <li>Mapping the sedimentary structure of subsoil.</li> </ul>



Civil Engineering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil investigation for foundation of bridges and viaducts;</li> <li>• Geological and geotechnical investigations of tunnels;</li> <li>• Investigation and localisation of natural karstifications and man-made cavities under buildings, railway causeways, and bridges;</li> <li>• Special soil investigation under old historical buildings;</li> <li>• Investigation and localisation of cracks within dams.</li> </ul>
Environment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geological and geotechnical investigation of new and still active waste deposits;</li> <li>• Investigation and monitoring of the fracture system in hard rock for nuclear waste storage;</li> <li>• Monitoring of tracer measurements;</li> <li>• Monitoring of in situ remediation processes of contaminated areas;</li> <li>• Investigation of old nuclear power plant sites.</li> </ul>

## SUMMARY

Conventional geophysical exploration methods for the investigation and monitoring of dikes and dams are widely used. Especially during the last fifteen to twenty years new technologies of the radar measurements in the borehole have been developed for a wide spectrum of practical applications. In comparison to the more traditional geophysical methods for a broad routine use from the surface, the borehole radar technology offers new possibilities for the solution of special hydrological problems partly related to the protection against high water and for monitoring the state of high water protection facilities.

## REFERENCES

- [1]. L. Corin, I. Couchard, B. Dethy, L. Halleux, A. Monjoe, T. Richter, and J.P. Wauters: Radar tomography applied to foundation design in a karstic environment. In: Modern Geophysics in Engineering Geology edited by D.M. McCann, M. Eddleston, P.J. Fenning, G.M. Reeves, Geological Society London, 1997, p. 176 - 173.
- [2]. T. Fechner, U. Pippig, and T. Richer, L. Corin, L. Halleux, R. Westermann: Borehole Radar Surveys for Limestone Investigation. 7<sup>th</sup> International Conference on Ground-Penetrating Radar, 27th to 30th May 1998, Lawrence, Kansas, USA, proceedings, Volume 2, p. 743 - 746.
- [3]. L. Halleux, L. Corin, V. Defourny, R. Maly, U. Pippig, and T. Richter, G. Van Lierde: Systematic Radar and Borehole Radar Investigation in the Salt Mine of Borth (Germany). 8<sup>th</sup> World Salt Symposium, The Hague, The Netherlands, 7<sup>th</sup> to 11<sup>th</sup> May 2000, Proceedings, Volume 1, p. 369 - 374.
- [4]. F. Börner; T. Fechner, T. Richner, B. Weihnacht; U. Yaramancy: Lithological Interpretation of the Spectral Dielectric Properties of Limestone. (The paper will be published in "Near Surface Geophysics" in 2003).

## SCHWACHSTELLENANALYSE AN DEICHEN DER ELBE IN SACHSEN – STANDSICHERHEITSBERECHNUNG UND WASSERBAULICHE MAßNAHMEN ZUR SANIERUNG

**R. Lewis & R. Scholz,**

Dresden Dorsch Consult Ingenieurgesellschaft mbH

Postfach 160110, D-01287 Dresden,

R.Lewis@dresden-dc.de

### ZUSAMMENFASSUNG

In den deutschen Regelwerken DVWK Merkblatte 210/86 - Flussdeiche und DIN 19712 – Flussdeiche sind ausgehend von den Planungs- und Unterhaltungsgrundsätzen für den Deichneubau und den Unterhalt bestehender Deiche Anforderungen an die geotechnischen und geophysikalischen Untersuchungen von Deichuntergrund und Deichkörper formuliert.

Der überwiegende Teil der sächsischen Deiche an der Elbe wurde im 18. bzw. 19. Jahrhundert erbaut und genügt daher nicht immer den o.g. Anforderungen der gültigen Regelwerke.

Die mit dem Hochwasserschutz beauftragten sächsischen Behörden führen daher in Zusammenarbeit mit qualifizierten Ingenieurbüros ein umfassendes Programm zur Schwachstellenanalyse an den Deichsystemen der Elbe durch.

Durch das Ingenieurbüro Dresden Dorsch Consult wurden in den Jahren 2000-2003 insgesamt 34 km Elbedeiche im Raum Torgau mit geophysikalisch-geotechnischen Methoden und durch Standsicherheitsberechnungen des Ist-Zustandes auf Schwachstellen untersucht. Für die detektierten Schwachstellen wurden grundsätzliche Vorschläge zu Sanierungsmöglichkeiten erarbeitet.

Im Ergebnis der Schwachstellenanalyse erfolgten umfassende wasserbauliche Planungsarbeiten zur Deichsanierung für insgesamt 14 km Deichtrasse, wovon bisher Deichabschnitte in einer Länge von ca. 2 km durch bauliche Maßnahmen saniert worden sind, die ihre Bewährungsprobe durch die Hochwasserereignisse vom August 2002 bestanden haben.

Der Vortrag zeigt die methodische Herangehensweise an die geotechnisch-geophysikalische Erkundung und Standsicherheitsberechnung von Schwachstellen sowie die anschließende Umsetzung der gewonnenen Ergebnisse bei der wasserbaulichen Planung an Hand von beispielhaft ausgewählten Deichabschnitten der Elbe im Raum Torgau auf.

Für bereits sanierte Deichabschnitte wird die bauliche Realisierung der geplanten Sanierungsmaßnahmen dokumentiert.

### TÓM TẮT

#### PHÂN TÍCH CÁC ĐỐI XUNG YẾU CỦA ĐÊ ELBƠ Ở SACHSEN – TÍNH TOÁN ĐỘ AN TOÀN VÀ CÁC GIẢI PHÁP DUY TU, BẢO DƯỠNG ĐÊ

Trong luật đê điều của CHLB Đức, Chương 210, điều 86 - đối với Đê Sông và Tiêu chuẩn quốc gia Đức về xây dựng các Đê Sông – DIN 19712 đã khẳng định rằng, các công trình xây dựng đê mới và duy tu bảo dưỡng đê ngay từ khi đặt kế hoạch đến khi triển khai thực tế đòi hỏi phải có công tác nghiên cứu khảo sát bằng các phương pháp địa vật lý và địa kỹ thuật. Phần chủ yếu của đê sông Elbơ trên vùng Sachsen đã được xây dựng từ thế kỷ 18 và 19, do đó mà trước đây không áp dụng đầy đủ luật đê điều hiệu lực này.

Các cơ quan quản lý đê điều vùng Sachsen căn cứ vào nhu cầu chống lụt đã phối hợp với các cơ quan khảo sát công trình có chất lượng để triển khai một chương trình tổng hợp nhằm phân tích đánh giá các đối xung yếu trên toàn bộ hệ thống đê Sông Elbơ.

Trong các năm 2000 – 2003, cơ quan tư vấn kỹ thuật công trình Dresden Dorsch đã triển khai khảo sát 34 km đê sông Elbơ tại vùng Torgau bằng các phương pháp địa vật lý và địa kỹ thuật đồng thời tính toán mức độ an toàn hiện thời trên các vị trí xung yếu. Các giải pháp kỹ thuật tối ưu đã được kiến nghị để xử lý các vị trí xung yếu.

Kết quả khảo sát và phân tích các đối xung yếu đã phục vụ kế hoạch tu bổ tổng số 14 km đê đi qua thành phố, trong đó khoảng 2 km đã được tu bổ bằng phương pháp mới. Đoạn này đã được thử thách và chịu đựng tốt trong sự kiện lũ lớn vào tháng 8 năm 2002 vừa qua.

Báo cáo giới thiệu công nghệ kỹ thuật khảo sát địa vật lý-địa kỹ thuật và phương pháp tính toán độ an toàn của các vị trí xung yếu cũng như một số kết quả xử lý trên đoạn đê sông Elbơ tại Torgau. Đối với đoạn đê cần mở rộng cũng sẽ giới thiệu một số phương pháp kỹ thuật để xây đắp.



## GEOELECTRIC MULTIELECTRODE SYSTEM GMS150

**Andreas Steiner**

Geo Sys GmbH Leipzig, Braunstr. 23 – 25, D-04347 Leipzig, Germany

Email: asteiner@geosys-germany.com

### THIẾT BỊ ĐO ĐỊA ĐIỆN ĐA CỰC GMS 150

### GEOELECTRIC MULTIELECTRODE SYSTEM GMS150

GMS 150 là thiết bị đo địa điện đa cực. Nó bao gồm khối đo, các điện cực và các cáp đa sợi để nối các điện cực với khối chứa một bộ truyền, một bộ phát tín hiệu và một bộ khuếch đại, tất cả các bộ phận được thiết kế trong một modul liên kết.

Quá trình đo được thực hiện theo thứ tự luân phiên phát dòng không đổi xuống môi trường dưới sâu qua hai điện cực phát đã chọn (A và B), đồng thời thực hiện đo điện thế tại hai điện cực thu khác (M và N). Việc lựa chọn 4 điện cực này được điều khiển bằng bộ tích hợp. Việc đo thế được thực hiện bằng bộ nhận tín hiệu. Bộ truyền có nhiệm vụ phát dòng ổn định. Một bộ truyền tín hiệu sẽ nối khối trung tâm GMS 150 với 1 máy tính nhỏ PC qua hai cổng truyền chuẩn. Máy tính xách tay (notebook) được cung cấp phần mềm chuyên dụng sẽ kiểm tra quá trình đo đạc.

Bộ thiết bị địa điện đa cực thiết kế sử dụng với độ phân giải cao. Khi so sánh với các thiết bị địa điện chuẩn thì thiết bị địa điện đa cực có thể làm việc không hạn chế. Sau khi tất cả các điện cực đã được bố trí ở vị trí đo và với các tham số đo đạc cho trước hợp lý và được cài đặt, máy tính sẽ đảm đương các công việc còn lại.

Bộ GMS 150 được áp dụng vào các lĩnh vực sau:

- Thăm dò nước ngầm, xác định đới dấp vờ
- Khảo sát khảo cổ
- Nghiên cứu các khu bãi thải
- Khảo sát công trình dân dụng và nghiên cứu địa chất.

The GMS150 is a system for geoelectric multielectrode measurements. It consists of the measuring unit, electrodes and multicore cable to connect the electrodes with the measuring unit. The measuring unit consists of a transmitter, a receiver and a multiplexer which all have been designed as plug-in modules.

The measurement is carried out by introducing a constant alternating current into the ground from a constant current source via two selected electrodes (A and B) while simultaneously performing a selective AC measurement at two further electrodes (M and N). The selection of the four electrodes is managed by the multiplexer board.

The measurement of the voltage is carried out by the receiver board. The transmitter board generates the constant current. An interface board connects the GMS150 with a PC via two standard interfaces. A computer (notebook) equipped with a special software controls the measurement.

Multielectrode geoelectric measurements offer the user a very high resolution. Compared to the standard geoelectric the multielectrode measurement can be carried out with less staff. Once all electrodes are in place and the predefined data files for the sequence of the measurement have been installed, the computer does the rest of the work.

The GMS150 can be used for the following applications:

- groundwater exploration, cavity detection,
- archaeological investigations,
- investigation of waste deposits,
- civil engineering and geological investigations.



# HỘI THẢO VIỆT ĐỨC VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ NGHIÊN CỨU ĐỀ



## Cơ quan tài trợ:

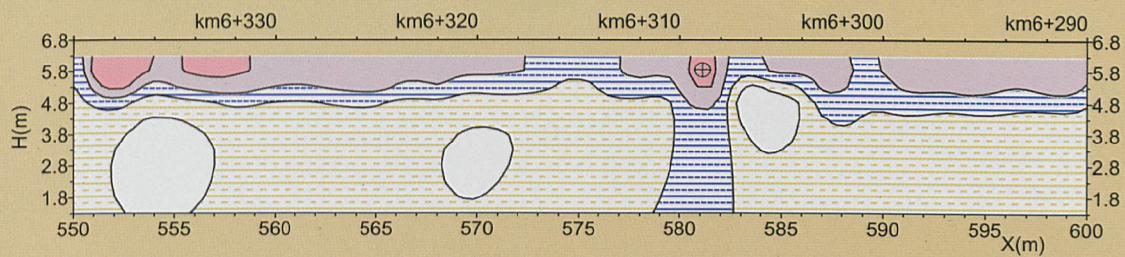
- Trung tâm Khoa học tự nhiên và Công nghệ Quốc gia;
- Volkswagen Stiftung Germany;
- Chương trình nghiên cứu cơ bản, Bộ Khoa học, Công nghệ Việt Nam.

## Supporting Institutions:

- National Center for Natural Sciences and Technology, Hanoi;
- Volkswagen Stiftung Germany;
- Basis Research Program Found, MOSTE, Hanoi.

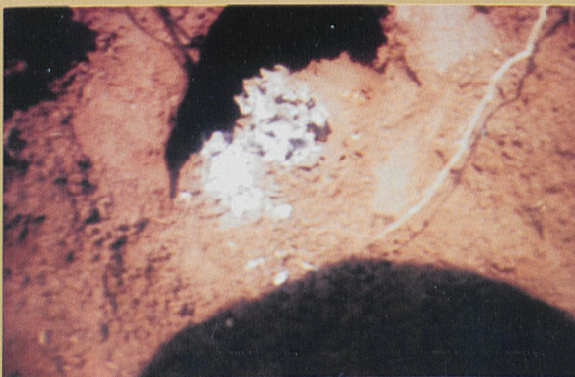
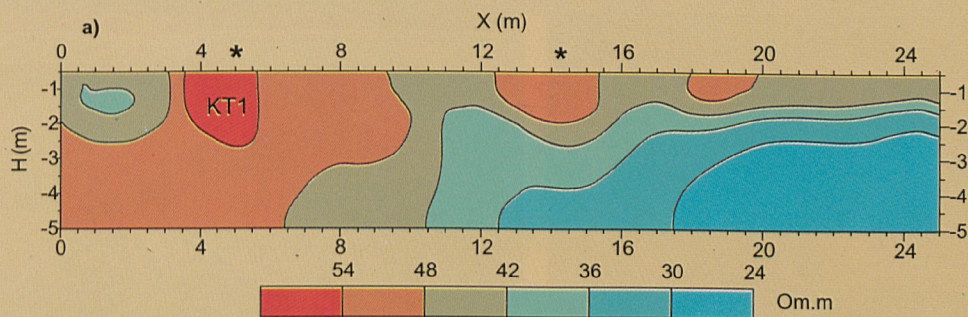






**Hình trên:** Dị thường điện trở suất liên quan đến tổ mối tại đoạn km 6+338-km 6+288  
đê Hiệp Hòa, Thái Bình - Resistivity anomalies relate with termite nests at dike  
in Hiệp Hòa, Thái Bình, km 6+338-km 6+288

**Hình dưới:** Kết quả đào kiểm tra tại km6+308 (dấu \*), tìm được tổ mối (ảnh)  
Result of control dig out at km 6+308 (marked with \*) found termite nest (image)



**Hình trên:** Dị thường điện trở suất liên quan đến tổ mối tại đoạn km 6+230-km 6+254  
đê Xuân Hòa, Thái Bình - Resistivity anomalies relate with termite nests at dike  
in Xuân Hòa, Thái Bình, km 6+230-km 6+254

**Hình dưới:** Kết quả đào kiểm tra tại km6+248 (dấu KT1), tìm được tổ mối (ảnh).  
Result of control dig out at km 6+308 (marked KT1) found termite nest (image)



A



**Hình A: GS.A.Weller hướng dẫn kỹ thuật đo địa điện đa cực tại hiện trường cho sinh viên địa vật lý, ĐHKHTN Hanoi tại Thái Bình.**  
*Prof. A. Weller show multi-geoelectrical technology in field for geophysical students of National University Hanoi tại Thái Bình.*



B

**Hình B: Một chút nghỉ ăn trưa trên đê Hiệp Hoà, Thái Bình.**  
*A noon recess and lunch at dike in Hiep Hoa, Thai Binh.*

C



**Hình C: Tổ mối được phát hiện tại Km6+502 đê Hiệp Hoà, Thái Bình.**  
*A Termite nest has been found at Km 6+502 in dike Hiep Hoa, Thai Binh.*



D

**Hình D: Tổ mối được phát hiện tại Km6+074 đê Hiệp Hoà, Thái Bình.**  
*A Termite nest has been found at Km 6+074 in dike Hiep Hoa, Thai Binh.*

Giấy phép xuất bản số 5663/VHTT-BC Ngày 27/12/2001 của Bộ VHTT  
 Giấy phép tổ chức Hội thảo Khoa học Quốc tế số 131/KHCNQ- HTQT ngày 14/2/2003

Số lượng 200 cuốn , In tại Xưởng in Công ty MTTW/ Số 1 Giang Văn Minh - Hà Nội  
*In xong nộp lưu chiểu tháng 3/2003*



## Umwelttechnik und Geogeräte

The company was founded in 1990 and is certified in line with DIN EN ISO 9001. The team consisting of qualified engineers and technicians has a lot of experience in developing geophysical measuring equipment.

### Range of Products:

#### Acoustic Borehole Tools

- **USBA** - applicable as Acoustic Log and Cement Bond Log,
- **ABF14** Acoustic Borehole Scanner, produces an exact image of the borehole wall of cased and open boreholes

#### Geoelectric Measuring Equipment

- **GM100** Standard Geoelectric Measuring Device,
- **GMS 150** Geoelectric Multielectrode System

Both devices can be used for ground water prospecting, civil engineering, geological mapping, investigations of waste dumps and contaminated sites.

#### Special Vehicle Superstructures for Geophysical Measurements

Geo Sys GmbH Leipzig designs and produces complete Logging Trucks for geophysical measurements. On any truck chassis a cabin is mounted divided into two compartments, which contains a hydraulic winch and a measuring laboratory.

#### Hydraulic Winches

- **GSW** (Geo Sys Winch) mobile und stationary hydraulic winches for depths up to 10.000 m to be used on drilling platforms and fields.

*Geo Sys GmbH Leipzig Your partner for  
Geophysical equipment*

## Geotomographie

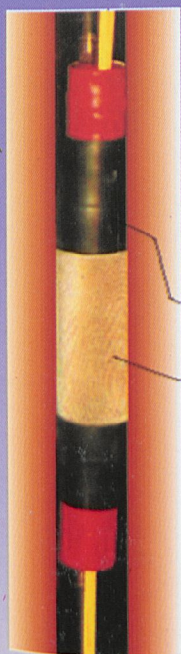


### Bohrloch-Elektrodensysteme

#### Flexible Borehole Electrode System for Multi-Electrode-Equipment and Borehole Tomography

Get rid of electrode coupling problems through omnidirectional electrode contact

#### Pressure Hose Cable



Rubber sleeve  
(prevents direct short  
circuit through borehole fluid)

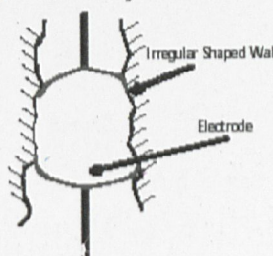
Flexible  
metal fabric

#### Multi-Electrode-Liner System (2" - 3")

- Flexible electrodes can be pressed to the borehole wall and will generate omnidirectional contact.
- Electrodes are manufactured by very low resistive flexible metal fabric
- A rubber sleeve above and below each electrode prevents direct contact to borehole fluid.
- Standard system contains 12 electrodes with 1 m spacing (other on request)

Geotomographie  
 Dr. Thomas Fechner  
 Am Tonnenberg 18  
 56567 Neuwied  
 Tel.: 02631 / 778135  
 Fax: 02631 / 778136  
 Email: [geotomo@t-online.de](mailto:geotomo@t-online.de)  
 Http://www.geotomographie.de

#### Application in dry Boreholes





# Geotomographie

## Electrode Strings

Especially designed for tomographic underwater measurements we newly offer electrode strings. Chains having 32 electrodes with high strength conductors. Cables having a PUR jacket and an outer diameter of about 10 mm

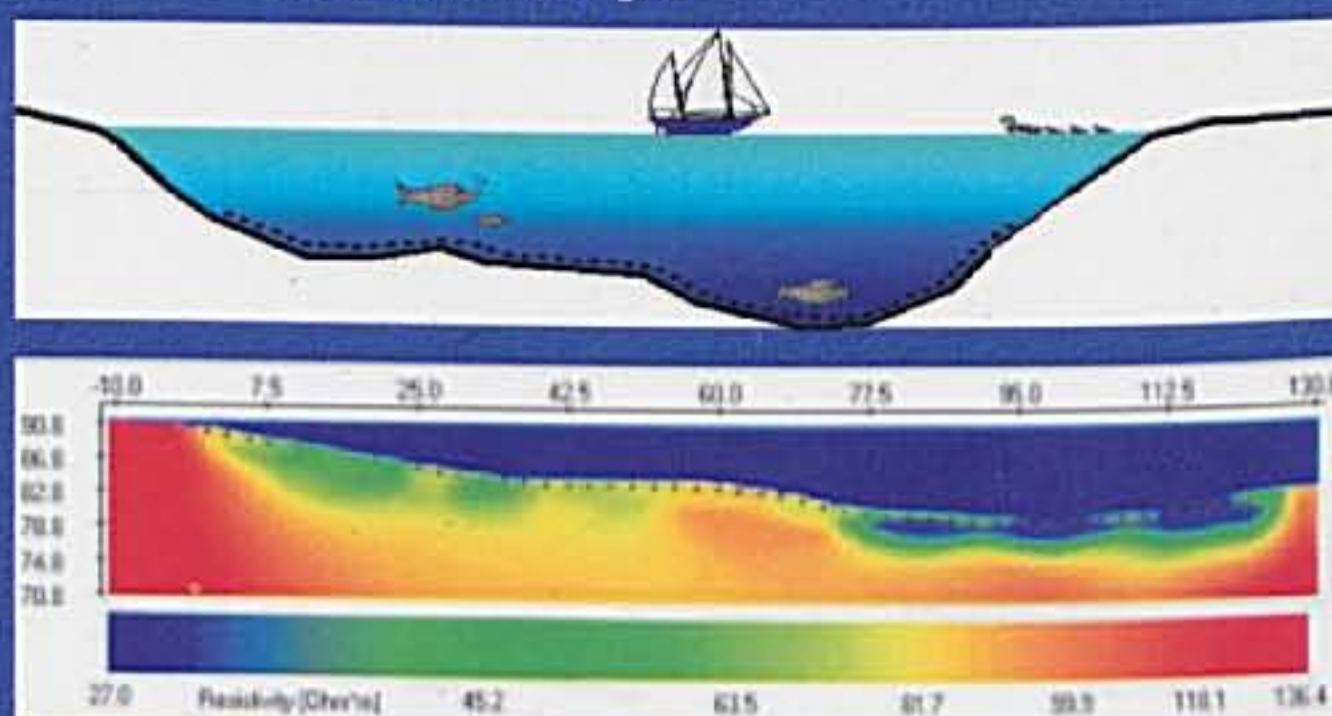


## Electrode Strings



The weight of the cable is about 0,15 kg per meter which is rather light.

**Tomograms using  
Data obtained by underwater  
measurements look a lot better  
than surface water  
measurements (inversion result  
shown with SensInv2D  
software)**



Geotomographie Am Tonnenberg 18 Telefon (02631) 778135. Email: [geotomo@t-online.de](mailto:geotomo@t-online.de)  
Dr. Th. Fechner D-56567 Neuwied Telefax (02631) 778136. Internet: [www.geotomographie.de](http://www.geotomographie.de)

## Inversion and Modelling with SensInv1D/2D/3D

- \* Inversion/Modelling of Geoelectrical and IP-Data based on Sensitivity Analysis and filtering techniques
- \* Simultaneous Inversion of arbitrary Electrode Configurations in 2D and 3D
- \* No Bounds to locate Electrodes (Surface and/or Borehole)
- \* Use of different Inversion Schemes (Back Projection, SIRT, MSIRT, Filter Technique)
- \* Import Options for various Equipment and Software
- \* Inversion of Laboratory Container Experiments
- \* Quality Control Moduls

**GeoTomographie** Am Tonnenberg 18, 56567  
Neuwied, Germany  
Email: [geotomo@t-online.de](mailto:geotomo@t-online.de) Website:  
[www.geotomographie.de](http://www.geotomographie.de)

